



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών

**Αύξηση και ανάπτυξη του Switchgrass κάτω από διαφορετικά
επίπεδα άρδευσης και λίπανσης και οικονομοτεχνική μελέτη της
καλλιέργειας στην κ. Ελλάδα.**



Παπαδούλης Νικόλαος-Χρυσοβαλάντης
Επιβλέπων καθηγητής: Δαναλάτος Νικόλαος

Βόλος 2011

ΕΙΣΗΓΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Νικόλαος Δαναλάτος Καθηγητής, Επιβλέπων.
Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Καθηγητής, Μέλος.
Ανθούλα Δημήρκου, Καθηγητής, Μέλος

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
1.1 Γενικά	7
1.2 Περιγραφή	8
1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	8
1.4 Ποικιλίες.....	9
1.5 Σπορά.....	10
1.6 Αποστάσεις φύτευσης.....	11
1.7 Λίπανση.....	12
1.8 Ζιζανιοκτονία.....	13
1.9 Συγκομιδή.....	14
1.10 Αποδόσεις.....	14
1.11 Χρήσεις του switchgrass.....	15
1.11.1 Ενέργεια από βιομάζα κεχριού	16
1.11.2 Παραγωγή βιοαιθανόλης από switchgrass.....	16
1.11.3 Καύση.....	17
1.11.4 Η χρήση των pellets ως νέας μορφής καύσιμο.....	19
2. Υλικά και μέθοδοι.....	20
2.1 Πειραματικό σχέδιο.....	20
2.2 Εργασίες στον αγρό	21
2.2.1 Σπορά.....	21
2.2.2 Λίπανση.....	21
2.2.3 Άρδευση.....	21
2.2.4 Έλεγχος ζιζανίων.....	22
2.2.5 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών.....	22
2.3 Συλλογή πειραματικών δεδομένων.....	22
2.4 Εργαστηριακές μετρήσεις.....	23

2.4.1 Επεξεργασία φύλλων.....	23
2.5 Συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων.....	25
2.6 Υπολογισμοί.....	25
2.6.1 Υπολογισμός θερμομονάδων (Accumulated Heat Units).....	25
2.6.2 Υπολογισμός SLA (Specific Leaf Area).....	26
2.6.3 Υπολογισμός LAI (Leaf Area Index)	27
2.6.4 Οικονομική σύγκριση καλλιέργειών	28
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	30
3.1 Κλιματολογικές συνθήκες	30
3.2 Αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας.....	32
3.2.1 Ύψος φυτών.....	32
3.2.2 Ειδική Φυλλική Επιφάνεια και Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας.....	35
3.2.3 Συνολικό Χλωρό Βάρος Φυτών.....	38
3.2.4 Συνολικό ξηρό βάρος φυτών.....	41
3.4 Οικονομική σύγκριση καλλιέργειας	44
Συμπεράσματα.....	46
Βιβλιογραφία	48
James P. Muir*,a, Matt A. Sandersonb, William R. Ocumpaughc (2000). Biomass Production of ‘Alamo’ Switchgrass in Response to Nitrogen, Phosphorus, and Row Spacing	48

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα μέσα από αυτές τις λιγοστές γραμμές να εκφράσω ευχαριστίες πρωτίστως στον Καθηγητή κ. Νικόλαο Δαναλάτο για την πολύτιμη βοήθειά του ώστε να έρθει εις πέρας το πείραμα αυτό.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κα. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη και την Καθηγήτρια κα. Ανθούλα Δημήρκου για τον χρόνο που διέθεσαν για τη διόρθωση και τις παρατηρήσεις στη μεταπτυχιακή μου.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Γιαννούλη Κυριάκο για την πολύτιμη βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος αλλά και κατά τη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Περίληψη

Το switchgrass, είναι μία ντόπια, θερμής περιόδου και πολυετής καλλιέργεια, η οποία καλλιεργείται ως επί το πλείστο στις Η.Π.Α. Ως ένα C4 φυτό, το switchgrass είναι πολύ αποδοτικό σε βιομάζα, η οποία είναι πλούσια σε κυτταρίνη, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη καλλιέργεια να είναι πολύ σημαντική για την αιθανόλη και γενικότερα για την παραγωγή ενέργειας. Έχει παρατηρηθεί, ότι η καλλιέργεια φτάνει στη μέγιστη δυνατή απόδοση στον τρίτο χρόνο καλλιέργειας και συνεχίζει να παράγει βιομάζα για χρονικό διάστημα μέχρι και δώδεκα χρόνων. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας μπορεί να παρεμποδιστεί σοβαρά από την ύπαρξη ζιζανίων, ειδικά κατά τον πρώτο χρόνο εγκατάστασης και ενώ δεν έχει αναπτύξει βαθύ ριζικό σύστημα.

Στην παρούσα μελέτη, εξετάζεται η αύξηση και ανάπτυξη του switchgrass κάτω από δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης I_1 (0 mm άρδευσης) και I_2 (250 mm άρδευσης) όπως και τεσσάρων διαφορετικών επιπέδων λίπανσης N_1 (0 μονάδες αζώτου), N_2 (8 μονάδες αζώτου Επίπεδο), N_3 (16 μονάδες αζώτου) και N_4 (24 μονάδες αζώτου) στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας η οποία χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους υγρούς χειμώνες.

Τέλος, γίνεται μια αναφορά στα οικονομοτεχνικά της καλλιέργειας του switchgrass με την σύγκριση εξόδων, ακαθάριστου κέρδους και καθαρού κέρδους των καλλιεργειών switchgrass και του βαμβακιού.

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Το επιστημονικό όνομα του switchgrass είναι *Panicum virgatum* και ανήκει στην οικογένεια *Poaceae*. Είναι ένα πολυετές C4 αγρωστώδες φυτό και το ύψος του όταν καλλιεργείται σε ευνοϊκές συνθήκες μπορεί να ξεπεράσει τα 2m, είναι αρκετά φυλλώδες και έχει πολυάριθμες ρίζες, που επιτρέπουν το φυτό να αδελφώσει. Η καλλιέργεια παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα αφού μπορούν να παραχθούν σημαντικές ποσότητες βιομάζας ακόμη και σε συνθήκες μειωμένων εισροών (λίπανση, ζιζανιοκτονία). Συναντάται κυρίως στην Κεντρική και Βόρεια Αμερική, αλλά έχει βρεθεί σε Νότια Αμερική και Αφρική. Το switchgrass μπορεί να βρεθεί σε λιβάδια, κατά μήκος των ακρών του δρόμου, και ως διακοσμητικό στους κήπους. Στην Ελλάδα καλλιεργείται σε πειραματικό στάδιο για την παραγωγή υγρών ή στερεών βιοκαυσίμων ή βιομηχανικές πρώτες ύλες. Το switchgrass είναι πολύ ανθεκτικό φυτό και προσαρμόζεται σε διάφορες κλιματολογικές και εδαφικές συνθήκες. Η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ως ένα πολυετές C₄ φυτό, το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξής του εμφανίζεται από το τέλος της άνοιξης με αρχές φθινοπώρου και πέφτει σε αδράνεια κατά τους κρύους μήνε. Το switchgrass αποτελεί σημαντική ενεργειακή καλλιέργεια με δυνατότητα αξιόπιστης παροχής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ενώ επίσης δεσμεύει τον C στο έδαφος (Skinner R. H. and Adler P.R., 2010).

1.2 Περιγραφή

Το switchgrass (*Panicum virgatum* L.) είναι πολυετές C₄, αγροστώδες φυτό ιθαγενές της Β. Αμερικής και απαντάται νότια του 55° βόρειου γεωγραφικού πλάτους έως τα μέσα του Μεξικού. Συναντάται επίσης τόσο στη Ν. Αμερική όσο και στη Β. Αφρική. Χρησιμοποιείται κυρίως ως χορτοδοτικό λόγω της μεγάλης φυτομάζας που παράγει, ως διακοσμητικό σε πολλά μέρη του κόσμου και ως φυτό εδαφοκάλυψης για προστασία από την διάβρωση. Μετά τη εγκατάστασή του, το switchgrass μπορεί να επιβιώσει για δέκα χρόνια ή και περισσότερο.

Το switchgrass είναι πολύ ανθεκτικό φυτό και προσαρμόζεται σε διάφορες κλιματολογικές και εδαφικές συνθήκες. Η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ως ένα πολυετές C₄ φυτό, το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξής του εμφανίζεται από το τέλος της άνοιξης με αρχές φθινοπώρου και πέφτει σε αδράνεια κατά τους κρύους μήνες. Έτσι, η παραγωγική σεζόν στις βόρειες περιοχές μπορεί να είναι η συντομότερη από τρεις μήνες, αλλά μπορεί και να φτάσει μέχρι και τους οκτώ μήνες στην [ακτή του Περσικού Κόλπου](#) (Ball D.M. et al, 2002).

Από τις αρχές της δεκαετίας του 90 άρχισε να διερευνάται η χρήση του ως ενεργειακό φυτό για την παραγωγή αιθανόλης και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση της παραγόμενης βιομάζας, στις ΗΠΑ και τον Καναδά. Στην Ευρώπη, η έρευνα για την καλλιέργεια του switchgrass ως ενεργειακό φυτό άρχισε το 1998 στο πλαίσιο ενός ευρωπαϊκού δικτύου (FAIR 5 CT97 3701). Στο πλαίσιο αυτού του έργου, δημιουργήθηκαν πειραματικοί αγροί switchgrass σε πέντε ευρωπαϊκές χώρες, δύο στα νότια (Ελλάδα και Ιταλία) και τρεις στο Βορρά (Γερμανία, Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο). (Lewandowski et al., 2003).

1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το Switchgrass είναι μια πολυετής πόα η οποία αναπτύσσεται σε ύψος 1,5 μέτρο περίπου, αλλά μπορεί να φθάσει και τα 3 μέτρα σε ευνοϊκά περιβάλλοντα (εικόνα). Το ριζικό του σύστημα είναι πλούσιο και φθάνει σε βάθος τα 3 μέτρα (Liebig et al, 2005), ενώ παράγει κάθε χρόνο πολλά νέα ριζίδια, τα οποία όταν νεκρώνονται εμπλουτίζουν το έδαφος με οργανική ουσία. Μάλιστα η κάτω από το έδαφος παραγωγή βιομάζας στην πλήρη ανάπτυξη καλλιέργειας, είναι ίση ή και μεγαλύτερη με την υπέργεια.

Τα φύλλα του είναι λογχοειδή πάχους 6-12 χιλ. με ευδιάκριτη νεύρωση και με παρουσία τριχιδίων στην πάνω επιφάνεια χαρακτηριστικό που βοηθάει στη μείωση της εξατμισοδιαπνοής. Έχει γλωσσίδα μήκους 1,5-3 χιλ. μεμβρανώδη με τριχίδια.

Η ταξιανθία είναι σύνθετος βότρυς μήκους 15-45 εκατοστών, με κατάληξη σε σταχίδια στις άκρες των μακριών κλάδων, τα οποία είναι ανθισμένα ανά δύο, ένα γόνιμο και ένα στείρο, μήκους 3-5,5 χιλ.

Ο καρπός, είναι μικρός ωοειδής και οι σπόροι μικροί σε μέγεθος. Η καλλιέργεια του switchgrass για σπόρο μπορεί να παράγει 33-56 κιλά σπόρου ανά στρέμμα. Χρειάζεται μάλιστα σταυρογονιμοποίηση αφού είναι αυτόστειρο. (Frank et al, 2004)



1.4 Ποικιλίες

Υπάρχουν δύο γενότυποι-οικότυποι. Ο ένας οικότυπος πεδινών περιοχών (lowland) είναι τετραπλοειδής (γενότυπος) και απαντάται σε περιοχές με εύρωστα φυτά και ο δεύτερος (upland) είναι εξαπλοειδής ή οχταπλοειδής (γενότυποι) ο οποίος βρίσκεται σε μεγαλύτερα υψόμετρα (οικότυπος ορεινών περιοχών). Οι upland ποικιλίες switchgrass σταματούν την αύξηση –ανάπτυξή το φθινόπωρο και κατά

συνέπεια, η απόδοση είναι κατά κανόνα χαμηλότερη από άλλες πεδινές ποικιλίες switchgrass κάτω από ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες. Μία ποικιλία upland και μια lowland παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



1.Lowland ποικιλία

2.Upland ποικιλία

1.5 Σπορά

Η εγκατάσταση του φυτού γίνεται με σπόρους και στην Ελλάδα λαμβάνει χώρα το Μάιο όταν η θερμοκρασία εδάφους ξεπεράσει τους 10-15 °C. Οι σπόροι του switchgrass, είναι μικροί και σκληροί και έχουν γυαλιστερό περίβλημα. Υπάρχουν 500-1000 σπόροι σε ένα γραμμάριο, με το εύρος αυτό να εξαρτάται, από τον γενότυπο, αλλά και την ποικιλία. Για την ποικιλία Alamo για παράδειγμα έχουμε περίπου 800 σπόρους ανά γραμμάριο. Κατά την σπορά θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η βλαστικότητα του σπόρου. Μελέτες έχουν δείξει ότι το φύτεμα εξαρτάται από την ηλικία του σπόρου (οι πρόσφατα μαζεμένοι σπόροι έχουν υψηλό ποσοστό λήθαργου και χρειάζεται να επιδράσουν θερμοκρασίες 5 °C για 2-4 εβδομάδες για να διακοπεί).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το φύτεμα του σπόρου είναι το βάθος, η θερμοκρασία, η υγρασία του εδάφους. Το βάθος σποράς, πρέπει να είναι, από 10mm έως 15mm και σε καμία περίπτωση πάνω από 20mm. Η θερμοκρασία εδάφους πρέπει

να είναι πάνω από 10 °C. Η υγρασία του εδάφους, η οποία είναι μεν απαραίτητη, αλλά πρέπει να αποφεύγεται η σπορά σε πολύ υγρά χωράφια.

Επιπρόσθετα κατά τη σπορά παίζει ρόλο η καλή επαφή του σπόρου με το έδαφος. Το κυλίνδρισμα, τόσο πριν όσο και μετά την σπορά γενικά ευνοεί, το φύτευμα, χρειάζεται προσοχή όμως, το ποσοστό της εδαφικής υγρασίας λόγω πιθανής συμπίεσης ή σχηματισμού επιφανειακής κρούστας. Οι σπόροι που σπάρθηκαν σε χαλαρή σποροκλίνη ήταν περισσότερο επιρρεπείς στο πλάγιασμα.

Η ποσότητα του απαιτούμενου σπόρου έχει υπολογισθεί για την βόρεια Ευρώπη περίπου στα 10 kg/ha και για την νότια 20 kg/ha, ενώ η ποσότητα μπορεί να μειωθεί στο μισό εφόσον η βλαστικότητα του σπόρου είναι άριστη (Monti A. et al, 2007).

Η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 10 °C, όμως σε θερμοκρασίες κάτω από 15,5 °C το φύτευμα καθυστερεί αρκετά, ενώ στους 29,5 °C οι περισσότεροι σπόροι φυτρώνουν σε 3 ημέρες (Lewandowski I. et al, 2003). Ο οικότυπος και η ποικιλία βέβαια είναι αυτό που καθορίζει τελικά τις ανεκτικές αλλά και τις βέλτιστες θερμοκρασίες φυτρώματος.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι εδαφικές συνθήκες θερμοκρασίας, και υγρασίας κατά την σπορά, πρέπει να είναι παρόμοιες με αυτές της σποράς του καλαμποκιού, το χώμα ψιλόχωματισμένο και κυλινδρισμένο. Το πότισμα φυτρώματος και κατόπιν ποτίσματα σε διαστήματα των 7-10 ημερών αύξησαν το ποσοστό των εγκατεστημένων φυτών (McLaughlin S.B., Kszos L.A., 2005).

1.6 Αποστάσεις φύτευσης

Η σπορά μπορεί να γίνει με την σπαρτική των σιτηρών, οι δε αποστάσεις μεταξύ των σειρών πρέπει να είναι 15cm (Eldersen H. et al, 2004). Οι αποστάσεις των σειρών όπως και τα επίπεδο του αζώτου φαίνεται ότι επηρεάζουν την δέσμευση του C, αλλά και την κατανομή του μεταξύ υπέργειου μέρος του φυτού και ριζών. Η αποθήκευση του C στους βλαστούς ήταν μεγαλύτερη κατά 14% με διάστημα σειρών 80 cm από ότι με 20 cm. Στην Ευρώπη δεν έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο μεγάλες αποστάσεις σποράς. (Eldersen H. et al, 2004)

1.7 Λίπανση

Οι περισσότερες έρευνες για την λίπανση της καλλιέργειας έχουν δώσει έμφαση για την χρήση του switchgrass ως ζωοτροφή. Η λίπανση επηρεάζει όχι μόνο την απόδοση αλλά και την ποιότητα της ζωοτροφής. Περισσότερη αζωτούχος λίπανση μπορεί να δώσει όχι μόνο υψηλότερες αποδόσεις αλλά και ζωοτροφή καλύτερης ποιότητας. Πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι η ποσότητα λιπάσματος N που προτείνεται για την καλλιέργεια είναι πολύ υψηλότερη απ' ό τι απαιτείται για την παραγωγή βιομάζας. Για την παραγωγή αιθανόλης υψηλής ποιότητας απαιτείται χαμηλή περιεκτικότητα σε N. Το N μειώνει την αποδοτικότητα μετατροπής του καυσίμου σε ενέργεια και μπορεί να μετατραπεί σε ατμοσφαιρικό ρύπο.

Υπερβολική λίπανση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης και δυσκολίες στην συγκομιδή. Αντίθετα, η μειωμένη λίπανση ενδέχεται να έχει σημαντική επίπτωση στην παραγωγή. Στην κεντρική Ελλάδα η απόδοση καλλιεργειών που δεν δέχτηκαν αζωτούχο λίπανση κυμάνθηκε περί τους 1,5τόνους ξηρής ουσίας το στρέμμα, ενώ την ίδια περίοδο οι στρεμματικές αποδόσεις καλλιέργειας που εφαρμόστηκε λίπανση 4 και 12kg N το στρέμμα ήταν 2,1 και 2,5 τόνοι ξηρής ουσίας, αντίστοιχα. Συνήθως 5-6 kg/στρ/ έτος επαρκούν για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. (Samson,2007)

Το switchgrass θεωρείται πολύ αποδοτικό στην χρήση λιπασμάτων, διατηρεί συμβιωτική σχέση με μύκητες του εδάφους (**mycorrhizae**), οι οποίοι καθιστούν τις θρεπτικές ουσίες που βρίσκονται στο έδαφος διαθέσιμες στο ριζικό σύστημα του φυτού. Το switchgrass έχει την δυνατότητα να εξάγει άζωτο από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι το switchgrass μπορεί να αυξήσει την γονιμότητα του εδάφους με καθόλου ή ελάχιστη λίπανση. Τα μυκόριζα θεωρούνται υπεύθυνα για την πρόσληψη του φωσφόρου από το έδαφος, εδάφη φτωχά σε P ίσως μειώσουν την παραγωγή βιομάζας. (ATTRA,2006)

Ο P και το K πρέπει να εφαρμόζονται την πρώτη χρονιά και μόνο αν οι εδαφολογικές αναλύσεις δείξουν χαμηλή διαθεσιμότητα εδάφους, συνήθως λίπανση με P και K πραγματοποιείται συνήθως το 2^ο και 3^ο έτος και μόνο αν κριθεί απαραίτητο. Η λίπανση με P εξαρτάται από το pH του εδάφους, συνήθως συστήνεται λίπανση με P από 0-35kg/ha ανάλογα με τις εδαφολογικές αναλύσεις. Όταν κρίνεται αναγκαίο γίνεται πριν ή κατά την σπορά ενώ δεν πρέπει να γίνει λίπανση με N στην σπορά γιατί κάτι τέτοιο θα προκαλέσει ταχύτερη ανάπτυξη ζιζανίων. Με την

συγκομιδή αργά τον χειμώνα ή την άνοιξη οι απαιτήσεις σε P και K ελαχιστοποιούνται. (James et al,2000)

1.8 Ζιζανιοκτονία

Ο έλεγχος των ζιζανίων είναι κρίσιμος κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και μπορεί να ολοκληρωθεί είτε με μηχανική κατεργασία είτε με ζιζανιοκτονία. Λόγω του μικρού μεγέθους του σπόρου, τα φυτά αναπτύσσονται αργά και είναι ευαίσθητα στον ανταγωνισμό των ζιζανίων. Τα ζιζάνια μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας κυρίως τις 8 πρώτες εβδομάδες δυστυχώς δεν υπάρχει κανένα ζιζανιοκτόνο αποτελεσματικό για τον έλεγχο των ζιζανίων στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του φυτού. (Χρήστου et al, 2006)

Ο ανταγωνισμός των ζιζανίων είναι ιδιαίτερα επιβλαβής για το πρώτο έτος της καλλιέργειας, από το δεύτερο έτος ο έλεγχος γίνεται λιγότερο δύσκολος και πιο οικονομικός. Το switchgrass ωφελείται επίσης από το κάψιμο των υπολειμμάτων της καλλιέργειας πριν την έναρξη της ανάπτυξης την άνοιξη καίγοντας τους αγρούς μια φορά ανά 3-5 έτη μειώνεται ο ανταγωνισμός των ζιζανίων και υποκινείται η αύξηση των κομμένων φυτών.

Ο καλύτερος έλεγχος των ζιζανίων δόθηκε απ' το μεταφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο nicosulfuron που εφαρμόστηκε σε μειωμένες δόσεις (10-20gr/ha) σύμφωνα με έρευνα σε προφυτρωτικά και μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα σε συνδυασμό με άλλες καλλιεργητικές πρακτικές σε καλλιέργεια 1^{ου} έτους switchgrass. Πρακτικά συστήνεται:

1. Εφαρμογή glyphosate (Royn-d-up)
2. Κοπή ζιζανίων 2-3 φορές κατά την διάρκεια της πρώτης καλλιεργητικής περιόδου, η κοπή είναι πιο αποτελεσματική για τα ετήσια ζιζάνια όταν γίνει στο στάδιο ωρίμανσης αλλά πριν δώσουν σπόρο, με αυτή την μέθοδο μειώνονται και τα πολυετή ζιζάνια.(Alexopoulou et al, 2008)

1.9 Συγκομιδή

Το switchgrass που προορίζεται για παραγωγή βιομάζας η συγκομιδή γίνεται μια φορά το έτος στο στάδιο που τα φύλλα κιτρινίσουν. Στην χειμερινή συγκομιδή η κοπή γίνεται 10cm από την επιφάνεια του εδάφους για να επιβιώσει η καλλιέργεια τον χειμώνα. Η συγκομιδή γίνεται είτε στα μέσα χειμώνα (Νοέμβριο – Ιανουάριο) είτε νωρίς την άνοιξη (μέσα Απριλίου – τέλη Μάιου). Όταν η υγρασία είναι κάτω από 15% εξασφαλίζεται γρηγορότερη δεματοποίηση και καλύτερης ποιότητας πρώτη ύλη. Το switchgrass καίγεται με ποσοστό υγρασίας 12-13%. (A Publication of ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service, Switchgrass as a bioenergy crop)

Συνήθως στα βαριά εδάφη ο αγρός είναι υγρός κάτι που εμποδίζει την δεματοποίηση και μεταφορά, αντίθετα τα καλά στραγγιζόμενα εδάφη προσφέρουν μέγιστη ευελιξία στους παραγωγούς στην πρόσβαση στον αγρό ακόμη και με υγρό καιρό.

Η συγκομιδή την άνοιξη έχει το πλεονέκτημα έλεγχου των ζιζανίων και επιβίωσης της καλλιέργειας τον χειμώνα. Όταν η συγκομιδή γίνεται την άνοιξη η περιεκτικότητα σε τέφρα μειώνεται από 5% που έχει η φθινοπωρινή συγκομιδή σε 3% εξαιτίας της μείωσης της περιεκτικότητας σε N. Τα φυτά που συγκομίζονται την άνοιξη έχουν υγρασία 12-14% ενώ τα φυτά που συγκομίζονται τον χειμώνα η υγρασία κυμαίνεται από 16-17%. Στην ανοιξιάτικη συγκομιδή ίσως μειωθεί η απόδοση 20-30% λόγω χειμερινού παγετού και ανέμων παρόλο που το τελικό προϊόν θα είναι καλύτερης ποιότητας. (Samson, R., 2007)

1.10 Αποδόσεις

Η καλλιέργεια συγκομίζεται μια φορά τον χρόνο, τον χειμώνα και με σωστή διαχείριση η παραγωγή στην Αμερική μπορεί να φτάσει και τους 16 t/ha συνήθως όμως η απόδοση κυμαίνεται από 8-12t/ha. Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε μεσογειακές χώρες η απόδοση στην Ελλάδα ήταν 17,9t/ha ενώ στην Ιταλία 12,3t/ha.

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην Κεντρική Ελλάδα εκτιμήθηκαν 10 ποικιλίες ορεινές (upland) και πεδινές (lowland) για μια περίοδο έξι ετών (1998-2003). Η συγκομιδή γινόταν μια φορά τον χρόνο, τον χειμώνα, όταν η υγρασία ήταν λιγότερη από 30%. Όλες οι ποικιλίες μπήκαν στην παραγωγή το 2^ο έτος με

απόδοση 17,8t/ha, το 3^ο έτος η απόδοση ήταν 17,9t/ha. Σημαντική μείωση της παραγωγής παρατηρήθηκε το 4^ο και 5^ο έτος της καλλιέργειας που έφτασε μέχρι και το 38%. Το 5^ο έτος η απόδοση ήταν 48% χαμηλότερη (9,3t/ha) σε σχέση με την μέγιστη παραγωγή του 2^{ου} και 3^{ου} έτους. Το 6^ο έτος της καλλιέργειας η παραγωγή ήταν παρόμοια με το προηγούμενο έτος (9,6t/ha). Σε πέντε από τις έξι πεδινές ποικιλίες που μελετήθηκαν (Cathage, Kanlow, SL-93-2, SL 93-3 and SL 94-1) ήταν πιο παραγωγικές σε σχέση με τις ορεινές ποικιλίες (Caddo, CIR, Forestburg, SU-94-1 and Summer) σε ποσοστό που έφτανε μέχρι και το 15%. (Alexopoulou et al 2008)

1.11 Χρήσεις του switchgrass

Το switchgrass είναι μια πολλά υποσχόμενη πρώτη ύλη λόγω της υψηλής προστιθέμενης αξίας των χρήσεων του, της υψηλής παραγωγικότητας, των χαμηλών απαιτήσεων σε γεωργικές εισροές και των θετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Keshwani D. R. and Cheng J. J., 2009)

Το switchgrass χρησιμοποιείται για βόσκηση από ορισμένα ζώα, για προστασία από τη διάβρωση του εδάφους, ως βιότοπος για την άγρια φύση, αλλά και ως ζωοτροφή. Είναι πλούσιο σε κυτταρίνη, καθιστώντας το έτσι ελκυστικό ως πηγή για κυτταρινική αιθανόλη (Schmer M. R. et al, 2008).

Όσον αφορά την προστασία του εδάφους το switchgrass είναι χρήσιμο διότι έχει ένα βαθύ ινώδες σύστημα ρίζας σχεδόν όσο είναι και το ύψος του υπέργειου τμήματος . Οι βαθιές ινώδεις ρίζες του βοηθούν στην αύξηση της παραγωγικότητας, της διαπερατότητας, και της γονιμότητας των εδαφών. Επίσης το switchgrass προφυλάσσει από τη [διάβρωση](#) των εδαφών που καλλιεργείται, και από τον αέρα και από το νερό λόγω του ύψους του ([United States Department of Agriculture, 2008](#)).

Το switchgrass είναι μια άριστη ζωοτροφή για τα βοοειδή, ενώ έχει παρουσιάσει τοξικότητα στα άλογα και στα πρόβατα μέσω των χημικών ενώσεων γνωστών ως saponins, οι οποίες προκαλούν [φωτοευαισθησία](#) και ζημία στο συκώτι σε αυτά τα ζώα. (Johnson, A.L. et al, 2006)

1.11.1 Ενέργεια από βιομάζα κεχριού

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια με μια θερμοχημική μετατροπή (απευθείας καύση, πυρόλυση και αεριοποίηση) ή με ζύμωση των υδρογονανθράκων και την παραγωγή μεθανίου και βιοαιθανόλης (Hamelinck et al, 2005). Η καταλληλότητα της συγκομιδής μιας καλλιέργειας για ενεργειακούς σκοπούς, είτε με την μετατροπή της σε κάποιο καύσιμο είτε με την απευθείας καύση, μπορεί να μετρηθεί από δείκτες που απεικονίζουν το ενεργειακό περιεχόμενο, την πυκνότητα και την ευκολία ανάκτησης της αποθηκευμένης ενέργειας. Αυτοί οι δείκτες είναι που καθορίζουν τελικά την καταλληλότητα και το είδος της χρήσης, της παραγόμενης βιομάζας.

1.11.2 Παραγωγή βιοαιθανόλης από switchgrass

Η βιομηχανία παραγωγής βιοαιθανόλης χρησιμοποιεί δύο ειδών πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαιθανόλης: α) την παραγωγή από χλωρή βιομάζα πλούσια σε άμυλα ή ζάχαρα (καλαμπόκι ή το γλυκό σόργο) και β) την παραγωγή από βιομάζα προερχόμενη είτε από υπολείμματα καλλιεργειών είτε από φυτά καλλιεργούμενα για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιώντας την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη και την λιγνίνη.

Η παραγωγή αιθανόλης από κυτταρινούχα υποστρώματα με την βοήθεια διαφόρων τεχνολογιών ενζυματικής υδρόλυσης, κατά τις οποίες πολυσακχαρίτες διασπώνται σε μονοσακχαρίτες (γλυκόζη, φρουκτόζη) είναι μια διαδικασία που συνεχώς βελτιώνεται. Οι μονοσακχαρίτες αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης (Dien B.S. et al, 2006). Το 80% του ξηρού βάρους των ποωδών ενεργειακών φυτών αποτελείται από κυτταρίνη (30%-50%), από ημικυτταρίνη (πολυσυακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων σε ποσοστό 10%-40%) και από λιγνίνη (5%-20%) από τα οποία με ενζυματική υδρόλυση εκμεταλλεύσιμα είναι μόνο η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη, ενώ η τεχνολογία ενεργειακής εκμετάλλευσης της λιγνίνης διαρκώς βελτιώνεται, αφού έχει μεγάλο ενεργειακό δυναμικό (26,1GJ/t) που πλησιάζει αυτή του κάρβουνου (McLaughlin and Walsh, 1998).

Κατά τη σύγκριση του switchgrass με το καλαμπόκι (κύρια καλλιέργεια που χρησιμοποιείται αυτή την στιγμή στις ΗΠΑ για την παραγωγή αιθανόλης) βρέθηκε ότι το switchgrass απαιτεί λιγότερη ενέργεια για τη γεωργική παραγωγή, παράγει περισσότερη ενέργεια σε βιομάζα και χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια για την επεξεργασία της βιομάζας σε αιθανόλη από ότι το καλαμπόκι. Το καθαρό ενεργειακό

κέρδος υπό μορφή αιθανόλης, προερχόμενη από καλλιέργεια switchgrass, έχει βρεθεί ότι είναι υψηλότερο από αυτήν που παράγεται από καλαμπόκι, (McLaughlin, 1998).

Η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης από switchgrass αποτελείται από τρία διαφορετικά μέρη. Το πρώτο είναι η αεριοποίηση των πρώτων υλών. Δύο διαφορετικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται: (1) έμμεση αεριοποίηση με ατμό υπό πίεση, ή (2) άμεση αεριοποίηση με ατμό υπό πίεση και καθαρό οξυγόνο για να αποφευχθεί η αραίωση του αερίου. Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει τον καθαρισμό του αερίου από στερεά καθώς και άλλες ενώσεις όπως υδρογονάνθρακες, NH_3 , CO_2 ή H_2S και την προσαρμογή της σύνθεσης του αερίου. Στο τρίτο μέρος λαμβάνει χώρα η σύνθεση της αιθανόλης που περιλαμβάνει τη ζύμωση και τη παραγωγή αερίου υψηλής περιεκτικότητας σε αλκοόλες (Keshwani, D. R. and Cheng, J.J., 2009).

Η βιοαιθανόλη αποτελεί σήμερα βιοκαύσιμο με ευρεία εφαρμογή σε κάποιες περιοχές του πλανήτη. Σε πολλές χώρες πανευρωπαϊκά, αλλά και παγκοσμίως έχουν κάνει πολλά βήματα μπροστά στον σχεδιασμό, αλλά και στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Χαρακτηριστικά να αναφέρεται ότι το 2006 η κατανάλωση των χωρών της Ευρώπης ήταν 5.376.296 t, ενώ το 2003 όταν εφαρμόστηκε η πρώτη κοινοτική οδηγία ήταν 446.610 t (12πλασιάστηκε η παραγωγή - κατανάλωση). Στη χώρα μας απέκτησε ενδιαφέρον πρόσφατα με την εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας 2003/30 για καύσιμα μεταφορών. Προκειμένου να καλυφθούν οι στόχοι της Οδηγίας αυτής εξετάζεται η εισαγωγή της βιοαιθανόλης στο ελληνικό σύστημα αξιοποιώντας εναλλακτικές ενεργειακές καλλιέργειες

Παρά την αυξημένη ζήτηση για βιοαιθανόλη τα τελευταία χρόνια (πίνακας) λόγω του εθνικού στόχου υποκατάστασης συμβατικών καυσίμων από βιοκαύσιμα η εισαγωγή και διάθεση της στην ελληνική αγορά δεν αναμένεται να ξεκινήσει πριν από τις αρχές του 2010 (ΥΠΙΑΝ, *4^η Εθνική Έκθεση για τα Βιοκαύσιμα*).

1.11.3 Καύση

Εκτός από τη παραγωγή αιθανόλης, ένας άλλος τρόπος ενεργειακής αξιοποίησης της καλλιέργειας του switchgrass είναι και η καύση. Το ενεργειακό περιεχόμενο του είναι, συγκρίσιμο με αυτό του ξύλου, με σημαντικά χαμηλότερη αρχική περιεκτικότητα, σε υγρασία. Τα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την

καταλληλότητα των ενεργειακών καλλιεργειών για καύση ή αεριοποίηση είναι τα εξής: α) το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας, β) η περιεκτικότητα σε υγρασία και γ) η χημική σύνθεση της στάχτης που παράγεται στην καύση.

Το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας, καθορίζει την μέγιστη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να παραχθεί και τελικά την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να δημιουργηθεί από την καύση. Για το switchgrass το περιεχόμενο ενέργειας, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα σε μελέτες που πραγματοποιηθήκαν στις ΗΠΑ (Iowa) αναφέρεται ως 16,4 GJ/t σε γεωγραφικό πλάτος όμοιο με την Ελλάδα (Lemus R. et al, 2002), 17,4 GJ/t σε περιοχές του Καναδά (Madakadze I.C. et al, 1998) και 18,4 GJ/t σε πειράματα στην Αλαμπάμα των ΗΠΑ (McLaughlin S. et al, 1996).

Το περιεχόμενο υγρασίας κατά την συγκομιδή επηρεάζει το κόστος μεταφοράς και διαχείρισης καθώς και το ανακτήσιμο επίπεδο ενέργειας. Το switchgrass συνήθως συγκομίζεται σε μεγάλες μπάλες με περιεχόμενη υγρασία 13%-15%. Αυτό το ποσοστό της υγρασίας υποβιβάζει τα ενεργειακό επίπεδο του switchgrass σε λιγότερο από 18 GJ/t .

Η περιεκτικότητα της βιομάζας του switchgrass όπως και βιομάζας που προέρχεται από άλλες καλλιέργειες, σε νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, χλώριο και μαγνήσιο, επιδρά στην θερμική επεξεργασία, επηρεάζοντας την θερμοκρασία καύσης την περιεκτικότητα σε στάχτη και την διάβρωση των χώρων καύσης (Fahmi R. et al, 2007). Το κύριο χαρακτηριστικό της στάχτης που προάγει την διάβρωση είναι το αλκαλικό περιεχόμενο και η παρουσία πυριτικών αλάτων. Αυτά τα συστατικά χαμηλώνουν το σημείο τήξης της στάχτης με αποτέλεσμα να προσκολλάται στα εσωτερικά τοιχώματα του καυστήρα.

Όσον αφορά το ποσοστό της στάχτης, αυτό αναφέρεται 4,5%, καθώς και 6% σε. πείραμα 20 διαφορετικών ποικιλιών με τις πιο αποδοτικές (Alamo, Kanalow) να έχουν το μικρότερο ποσοστό 5,2% και 5,4% αντίστοιχα (Lemus R. et al, 2002). Υπάρχουν αναφορές για ποσοστό στάχτης κάτω και του 2,5% (Samson R. and Mehdi B., 1998) με ιδιαίτερες μεταχειρίσεις τόσο κατά την επιλογή εδάφους (αμμώδη), ποικιλίας (Alamo), εποχή συγκομιδής (πολύ αργά τον χειμώνα).

1.11.4 Η χρήση των pellets ως νέας μορφής καύσιμο

Τα συσσωματώματα ή σύμπηκτα ή πελλέτες (pellets) που παράγονται από το switchgrass είναι για βιομηχανική ή για οικιακή χρήση. Η παραγωγή των πελλετών γίνεται σε μονάδες επεξεργασίας. Οι πελλέτες είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια συμπιεσμένης βιομάζας (από διάφορες καλλιέργειες, δασική βιομάζα, υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου π.χ. πριονίδια) διαφόρων μεγεθών διαμέτρου 6-8mm και μήκους 12-15 mm . Με αυτό τον τρόπο η βιομάζα μετατρέπεται σε μορφή που εμπορεί να μεταφερθεί, να αποθηκευτεί, και γενικά να διαχειριστεί κατά την διαδικασία της καύσης της.

Οι πελλέτες έχουν υγρασία μέγιστο στο 8% και θερμική αξία περί τα 17-21 MJ/kg (ανάλογα με το είδος της βιομάζας), δηλαδή 2 κιλά πελλέτας ισοδυναμούν περίπου με 1 λίτρο πετρελαίου. Οι πελλέτες από switchgrass παρουσιάζουν ποσοστό στάχτης από 2,5 έως 4% (Lemus R. et al, 2002) με το χαμηλότερο ποσοστό να προέρχεται από βιομάζα που συγκομίσθηκε σε ελαφριά εδάφη.

Λόγω της ραγδαίας αύξησης της αγοράς πελλέτας για θέρμανση στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη, η βιομηχανία παραγωγής καυστήρων πελλέτας έχει κάνει μεγάλα τεχνολογικά άλματα με αποτέλεσμα οι καυστήρες πελλέτας που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα να έχουν πολύ μεγάλη απόδοση, παρόμοια πλέον (ή και μεγαλύτερη) με την απόδοση των καυστήρων πετρελαίου (80-85%).

Ενδεικτικά στην Αυστρία οι 8 στους 10 νέους λέβητες που τοποθετούνται είναι λέβητες pellets. Η Γερμανία έκλεισε το 2009 με 102.000 λέβητες εν λειτουργία και με περισσότερες από 200.000 σόμπες. Στην Ιταλία που κυριαρχεί η σόμπα pellets, έχουν τεθεί σε λειτουργία περισσότερο από 1 εκατ. τεμάχια. Η κατανάλωση των 13 εκατ. τόνων pellets στην Ευρώπη, σημαίνει απεξάρτηση από 6,5 εκατ. τόνους πετρέλαιο. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανάλωση σε πελλέτες στην Ευρώπη την τελευταία δεκαετία.

Η νέα νομοθεσία περί εκπομπών αερίων επιβάλλει αυστηρές προδιαγραφές για την κατασκευή των pellets και των χαρακτηριστικών της καύσης τους. Επίσης η γρήγορη ανάπτυξη της αγοράς, οι διαφορετικοί τύποι εμπορίας, τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και διανομής αλλά και η ανάγκη για συντονισμό ήταν λόγοι οι οποίοι συνέβαλαν στην δημιουργία προτύπων ποιότητας.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Πειραματικό σχέδιο

Για τους σκοπούς της μελέτης, έγινε πείραμα αγρού στον Παλαμά Καρδίτσας κατά την καλλιεργητική περίοδο 2009-2010.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν παραγοντικό 2x4 (split-plot), με 2 παράγοντες και 4 επαναλήψεις. Οι παράγοντες ήταν:

A) Δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης, και συγκεκριμένα:

- Επίπεδο I₁: 0 mm άρδευσης
- Επίπεδο I₂ (100% ETo): 250 mm άρδευσης

B) Αζωτούχος λίπανση (N) στα υπο-τεμάχια με τέσσερα επίπεδα και πιο συγκεκριμένα:

- Επίπεδο N₁: 0 μονάδες αζώτου
- Επίπεδο N₂: 8 μονάδες αζώτου
- Επίπεδο N₃: 16 μονάδες αζώτου
- Επίπεδο N₄: 24 μονάδες αζώτου

N - 0	N - 8	N - 16	N - 24	I R R I G A T E D
N - 8	N - 0	N - 24	N - 16	
N - 16	N - 24	N - 0	N - 8	
N - 24	N - 16	N - 8	N - 0	
N - 24	N - 16	N - 8	N - 0	R A I N F E D
N - 16	N - 24	N - 0	N - 8	
N - 8	N - 0	N - 24	N - 16	
N - 0	N - 8	N - 16	N - 24	
BLOCK I	BLOCK II	BLOCK III	BLOCK IV	

Κάθε επανάληψη (block) είχε διαστάσεις 200 m x 3,2 m (εμβαδόν 640 m²) και αποτελούνταν από 8 πειραματικά υπο-τεμάχια εμβαδού 25 m x 3,2 m = 80 m². Το σύνολο της έκτασης του πειραματικού αγρού ήταν 15 x 200 = 3000 m² (συμπεριλαμβανομένων και των διαδρόμων). Όπως φαίνεται και στο παραπάνω πειραματικό σχέδιο (σχήμα).

2.2 Εργασίες στον αγρό

2.2.1 Σπορά

Η φυτεία που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα είχε εγκατασταθεί στον αγρό το έτος 2009 και βρισκόταν στο δεύτερο έτος της. Για την εγκατάσταση της είχε χρησιμοποιηθεί σπόρος Switchgrass (variety Alamo). Η σπορά των τεμαχίων έγινε με σπαρτική σιτηρών. Ο απαιτούμενος σπόρος για την σπορά ήταν 800 γραμμάρια ανά στρέμμα.

2.2.2 Λίπανση

Η λίπανση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο, όπου και προβλέπονται τέσσερα επίπεδα λίπανσης ($N_1=0$ μονάδες N, $N_2=8$ μονάδες N, $N_3=16$ μονάδες N και $N_4=24$ μονάδες N). Στα υποτεμάχια N_1 δεν εφαρμόστηκε καμία λίπανση, ενώ για τη λίπανση των N_2 , N_3 και N_4 υποτεμαχίων χρησιμοποιήθηκε νιτρική αμμωνία (46-0-0). Σε κάθε N_1 και N_2 υποτεμάχια εφαρμόστηκαν 570gr και 1140gr αντιστοίχως του ανωτέρω λιπάσματος. Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στις 7/5/2011.

2.2.3 Άρδευση

Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 5 αρδεύσεις στο αρδευόμενο τεμάχιο I2 (100%), αφού σκοπός του πειράματος ήταν και η μελέτη της αύξησης και ανάπτυξης του switchgrass σε όλες τις συνθήκες, ξηρικές (I_1) αλλά και αρδευόμενες (I_2). Έτσι τα φυτά είχαν στη διάθεση τους το νερό των βροχοπτώσεων (I_1) και 250mm για το αρδευόμενο τεμάχιο (I_2). Η καλλιέργεια αρδεύτηκε με καταιονισμό (κανόνι).

2.2.4 Έλεγχος ζιζανίων

Λογώ του ότι η καλλιέργεια βρισκόταν στο δεύτερο έτος εγκατάστασης η ζιζανιοκτονία που πραγματοποιήθηκε ήταν μηχανική (σκαλιστήρι ανάμεσα στις επαναλήψεις-διαδρόμους) και χειρονακτική (τσάπισμα) με τη βοήθεια εργατών.

2.2.5 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών

Κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν παρατηρήθηκε καμία σοβαρή προσβολή των φυτών από εχθρούς ή ασθένειες και κατά συνέπεια δεν έγινε καμία εφαρμογή φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων. Κρίνεται όμως σκοπιμο να αναφερθεί η ύπαρξη μεγάλης βιοποικιλότητας στην καλλιέργεια (όπως βατράχια, διάφορα είδη πουλιών κ.α).

2.3 Συλλογή πειραματικών δεδομένων

Η αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας μελετήθηκε με επτά (7) δειγματοληψίες – κοπές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι δειγματοληψίες – κοπές πραγματοποιήθηκαν:

- Η πρώτη στις 17/5/2010
- Η δεύτερη στις 3/6/2010
- Η τρίτη στις 28/6/2010
- Η τέταρτη στις 14/7/2010
- Η πέμπτη στις 3/8/2010
- Η έκτη στις 19/8/2010
- Η έβδομη στις 20/9/2010

Σε κάθε κοπή επιλεγόντουσαν τυχαία όσα φυτά βρίσκονταν σε πλαίσιο 1 m² από το κάθε πειραματικό υποτεμάχιο. Η επιλογή των φυτών γινόταν συνήθως από το κέντρο του υποτεμαχίου. Αυτό έγινε γιατί παράγοντες όπως η λίπανση απαιτούν μεγάλα τεμάχια γιατί η επίδραση τους επεκτείνεται και στα αλλά τεμάχια, ώστε μεταξύ τεμαχίων πρέπει να υπάρχουν περιθωριακές γραμμές, που θα εξομαλύνουν την επίδραση του περιθωρίου – border effect – ενώ οι μετρήσεις θα γίνονται στο κεντρικό τμήμα του τεμαχίου δηλαδή στις πειραματικές γραμμές.

Μετά την κοπή των φυτών μετριόταν το ύψος τους και το βάρος τους, δείγμα 10 φυτών από κάθε πειραματικό τεμάχιο τοποθετούνταν μέσα σε πλαστική σακούλα

πάνω στην οποία αναγραφόταν ο αριθμός του τεμαχίου από το οποίο λήφθηκε το δείγμα.

Στην πρώτη κοπή, δηλαδή πριν από την εφαρμογή άρδευσης ελήφθησαν 4 δείγματα από κάθε επανάληψη (1 από κάθε επίπεδο λίπανσης). Στις επόμενες κοπές, δηλαδή μετά την εφαρμογή και της άρδευσης, ελήφθησαν 32 δείγματα κάθε φορά.

2.4 Εργαστηριακές μετρήσεις

Αμέσως μετά τις κοπές τα επιλεγέντα φυτά μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργίας. Εκεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού μετρήθηκε το χλωρό βάρος του δείγματος των 10 φυτών. Ακολούθως το κάθε φυτό του δείγματος τεμαχίζεται και διαχωρίζεται σε βλαστό και φύλλα από τα οποία μετρήθηκε το χλωρό βάρος και τοποθετήθηκαν μέσα σε χάρτινες σακούλες για ξήρανση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι από την 5^η κοπή (3/8/2010) και έπειτα εκτός από τα φύλλα και τους βλαστούς τα φυτά είχαν αναπτύξει και ανθικό στέλεχος, οπότε και ακολουθήθηκε και για αυτό η ίδια διαδικασία.

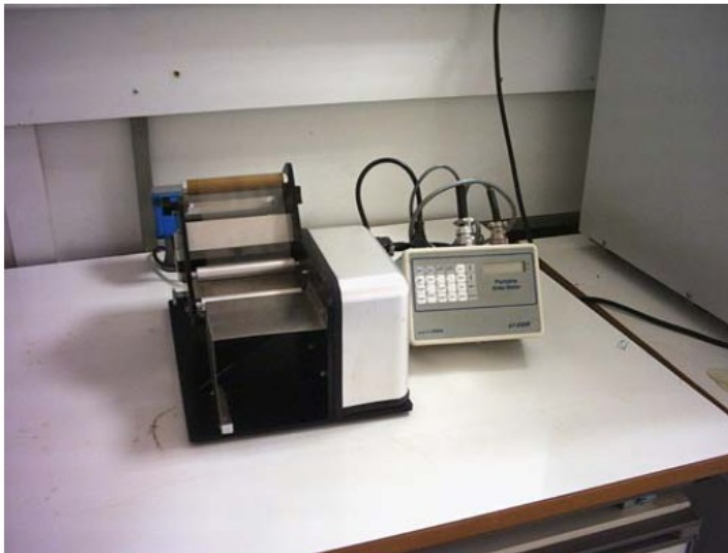
Στο Εργαστήριο Γεωργίας μετρήθηκε το χλωρό βάρος τόσο των φύλλων όσο και των βλαστών αλλά και της ανθοταξίας. Η μεταφορά των υποδειγμάτων από τον αγρό στο εργαστήριο γινόταν σε όσο το δυνατό συντομότερο χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτό το υπόδειγμα ζυγιζόταν στο εργαστήριο. Στη συνέχεια οι βλαστοί και τα φύλλα (μετά από επεξεργασία) τοποθετήθηκαν μέσα σε χάρτινες σακούλες και ακολούθησε ξήρανση τους μέσα σε κλίβανο στους 70 °C μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη. Μετά την ξήρανση (6-7 ημέρες) μετρήθηκε το ξηρό τους βάρος με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας.

2.4.1 Επεξεργασία φύλλων

Από το κάθε δείγμα μετρήθηκε το χλωρό τους βάρος όλων των φυλλων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας. Στη συνέχεια μετρήθηκε η φυλλική τους επιφάνεια και κατόπιν τοποθετήθηκαν σε κλίβανο για ξήρανση στους 70 °C μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη. Μετά την ξήρανση (5-6 ημέρες) μετρήθηκε το ξηρό τους βάρος με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας.

Η επιφάνεια των χλωρών φύλλων μετρήθηκε με τη βοήθεια του αυτόματου μετρητή φύλλων (leaf area meter). Το σύστημα αποτελείται από:

- Το LI-COR model LI-3000A portable area meter, που είναι ο υπολογιστής του συστήματος και αποτελείται από την οθόνη, τα πλήκτρα του υπολογιστή και τις υποδοχές για τις συνδέσεις με τα παράπλευρα όργανα.
- Την κεφαλή σάρωσης του συστήματος μέσα από την οποία περνούν τα φύλλα.
- Το εξάρτημα LI-3050A Transparent Belt Conveyor με πλαστική διάφανη ζώνη η οποία περιστρέφεται βοηθώντας τη διέλευση των φύλλων μέσα από την κεφαλή σάρωσης, για τη μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας.



Το σύστημα LICOR

Τα τρία αυτά όργανα συνδέονται μεταξύ τους και το όλο σύστημα αποτελεί μια ηλεκτρονική μέθοδο υπολογισμού κατά προσέγγιση της φυλλικής επιφάνειας.

Πριν από τη χρήση του ανωτέρω συστήματος για τη μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας είναι σκόπιμο να γίνει βαθμονόμηση του LI-COR με τη βοήθεια δυο μεταλλικών δίσκων εμβαδού 50 και 10 cm² που το συνοδεύουν έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια μέτρησης.

Το LI-COR έχει τη δυνατότητα μέτρησης της φυλλικής επιφάνειας, του μήκους, του πλάτους και του συνολικού πλάτους των φύλλων. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται στο LI-COR και μπορούν να μεταφερθούν σε H/Y ή σε εκτυπωτή. Το

LI-COR έχει σχεδιαστεί και για απευθείας χρήση στον αγρό. Τα φύλλα στα οποία μετράται η φυλλική επιφάνεια πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση καθώς και όλοι οι χειρισμοί του οργάνου να γίνονται προσεκτικά.

Εφαρμογή: Αφού τοποθετήθηκε κατάλληλα η κεφαλή σάρωσης μέσα στο LI-3050A έγινε η σύνδεση με το LI-COR. Τα φύλλα τοποθετήθηκαν πάνω στην περιστρεφόμενη ζώνη με προσοχή έτσι ώστε να είναι παράλληλα με τη ζώνη και να μη διπλώνουν. Μόλις αυτά περνούσαν μέσα από την κεφαλή σάρωσης το LI-COR παρείχε τις ενδείξεις. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για όλα τα φύλλα από κάθε δείγμα. Οι μεμβράνες πάνω στις οποίες τοποθετούσαν τα φύλλα για να μετρηθεί η φυλλική τους επιφάνεια πρέπει να είναι πάντοτε καθαρές ώστε να μην επηρεάζεται το αποτέλεσμα.

2.5 Συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων

Η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων έγινε με τη βοήθεια του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού που βρίσκεται εγκατεστημένος στον πειραματικό αγρό του Παλαμά Κρδίτσας. Ο μετεωρολογικός σταθμός περιλαμβάνει καταγραφέα τύπου DATALOG2 SERIES της εταιρίας SKYE INSTRUMENTS LTD., ο οποίος απαρτίζεται από τους παρακάτω αισθητήρες μέτρησης:

- Φωτός (PYRANOMETER)
- Θερμοκρασίας (THERMISTORS)
- Βροχόπτωσης (ARG 100)
- Ταχύτητας ανέμου (THIES CLIMA)

2.6 Υπολογισμοί

2.6.1 Υπολογισμός θερμομονάδων (Accumulated Heat Units)

Για την εκτίμηση του ρυθμού φυσιολογικής ωρίμανσης μιας καλλιέργειας συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος των προστιθέμενων θερμομονάδων (Accumulated Heat Units, A.H.U.) που υπερτερεί έναντι της ημερολογιακής μεθόδου (Ritchie & Nesmith, 1991).

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι απαιτούμενες θερμομονάδες από το φύτευμα έως ένα δεδομένο φαινολογικό στάδιο της καλλιέργειας (π.χ. άνθιση, ωρίμανση), υπολογίζονται με την άθροιση των ημερήσιων αποτελεσματικών θερμοκρασιών πάνω

από τη βασική θερμοκρασία ανάπτυξης της καλλιέργειας (threshold temperature) σύμφωνα με τον τύπο:

$$A.H.U. = \sum \left[\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_o \right]$$

όπου T_{\max} και T_{\min} είναι η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα αντίστοιχα και T_o είναι η βασική θερμοκρασία (°C). Στην περίπτωση του Switchgrass χρησιμοποιήθηκε ως βασική θερμοκρασία η τιμή των 10 °C.

DATES	JD*	GDD**
11/3/2010 (Βλάστηση)	70	0
17/5/2010(1η κοπή)	137	303
3/6/2010(2η κοπή)	154	476
28/6/2010(3η κοπή)	179	835
14/7/2010(4η κοπή)	195	1095
3/8/2010(5η κοπή)	215	1439
19/8/2010(6η κοπή)	231	1740
20/9/2010(7η κοπή)	263	2199

*JD=Julian days, **GDD=Θερμομονάδες

2.6.2 Υπολογισμός SLA (Specific Leaf Area)

Η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) αντιπροσωπεύει την συνολική φυλλική επιφάνεια ανά μονάδα ξηρού βάρους της φυλλικής μάζας. Πρόκειται για μορφολογικό χαρακτηριστικό της καλλιέργειας που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ένταση ακτινοβολίας και το σχετικό στάδιο ανάπτυξης (DVS). Μερικοί συγγραφείς αναφέρουν ότι η SLA μειώνεται από μια μέγιστη τιμή κατά την περίοδο του φυτρώματος (όταν το φυτό σχηματίζει λεπτά φύλλα), μέχρι μια ελάχιστη τιμή κατά την ωρίμανση. Με βάση τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της, η SLA μπορεί να προσδιοριστεί με τις εξισώσεις:

$$SLA = SLA_{\min} - (SLA_{\max} - SLA_{\min}) \times \ln(DVS)/2$$

If $SLA > SLA_{\max}$ then $SLA = SLA_{\max}$

όπου

SLA_{max} είναι η μέγιστη ειδική φυλλική επιφάνεια (m^2/kg)

SLA_{min} είναι η ελάχιστη ειδική φυλλική επιφάνεια (m^2/kg)

DVS είναι το σχετικό στάδιο ανάπτυξης

Οι εξισώσεις που εισηγούνται είναι εμπειρικές και πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Συνιστάται η χρήση πραγματικών δεδομένων της SLA που έχουν προκύψει από πειραματισμό στον αγρό (Δαναλάτος, 1999).

Όπως προαναφέρθηκε η SLA ισούται με το πηλίκο της επιφάνειας των φύλλων προς το ξηρό τους βάρος. Κατά συνέπεια ο υπολογισμός της SLA έγινε με βάση τις μετρήσεις της φυλλικής επιφάνειας ενός αριθμού φύλλων που μετρήθηκαν και του ξηρού τους βάρους, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$SLA = \text{Φυλλική Επιφάνεια} / \text{Ξηρό Βάρος Φύλλων}$$

Η SLA εκφράζεται συνήθως σε (m^2 φύλλων/kg ξηρών φύλλων).

2.6.3 Υπολογισμός LAI (Leaf Area Index)

Η φυλλική επιφάνεια εκφράζεται με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), ο οποίος ισούται με τη συνολική επιφάνεια των φύλλων που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη μονάδα επιφάνειας του εδάφους. Με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας αγνοούνται οι άλλες φωτοσυνθέτουσες επιφάνειες του φυτού (μίσχοι, στελέχη, κ.α.) οι οποίες όμως σε πρακτική κλίμακα αντιπροσωπεύουν μικρό ποσοστό. Ο LAI εκφράζει και την αποτελεσματικότητα μιας καλλιέργειας ως προς τη φωτοσυνθετική ικανότητα. Ο LAI αυξάνει από το φύτευμα μέχρι ενός ορίου του ώριμου φυτού και η αύξηση αυτή συνδέεται εποχικός με τον ρυθμό αύξησης και βλαστικής ανάπτυξης των φυτών.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) συνδέεται με την ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) με την σχέση:

$$L.A.I = \frac{SL \times SLA}{1000}$$

όπου SL είναι το ξηρό βάρος των (πράσινων) φύλλων (kg/στρέμμα) (Δαναλάτος, 1999).

Ο υπολογισμός του LAI έγινε με βάση την παραπάνω εξίσωση και η τιμή του LAI εκφράζεται σε m^2 επιφάνειας φύλλων/ m^2 εδάφους επιφάνειας.

2.6.4 Οικονομική σύγκριση καλλιεργειών

Για την οικονομική σύγκριση των καλλιεργειών και την αντικειμενικότερη προσέγγιση στις τιμές της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε ένα ερωτηματολόγιο στο οποίο απαντούσαν παραγωγοί από την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας. Οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου ήταν κυρίως οικονομικής φύσεως, όπως πόσο στοιχίζουν η κάθε καλλιεργητική προετοιμασία της σποροκλίνης του χωραφιού ανά στρέμμα, πόσο το κόστος των λιπασμάτων κ.α. για την καλλιέργεια αλλά και την καλλιέργεια του βαμβακιού με την οποία και θα γίνει η σύγκριση. Κατόπιν έγινε επεξεργασία των δεδομένων και ως κόστος υπολογίστηκε ο μέσος όρος από τα κόστη που είχαν σημειωθεί στις απαντήσεις των παραγωγών. Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί ότι στα κόστη δεν έχει υπολογισθεί η προσωπική εργασία του παραγωγού. Επιπλέον κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί ότι δεν συνυπολογίζονται οι επιδοτήσεις των καλλιεργειών λόγω της επερχομένης αλλαγής της ΚΓΠ το 2013.

Switchgrass	Βαμβάκι	
(€/στρ/y)		
Όργωμα	15	15
Καλλιεργητής	12	12
Δισκοσβάρνα	10	10
Σπορά	5	5
Σπόροι	65	15
Ζιζανιοκτονία	1,6	15
(20-10-10)	5	14
(46-0-0)	3,5	
*Λίπανση	3	
*Ζιζανιοκτονία	2	10
Εντομοκτόνα	0	20
**Άρδευση	16	20
Έλεγχος ζιζανίων	3	15

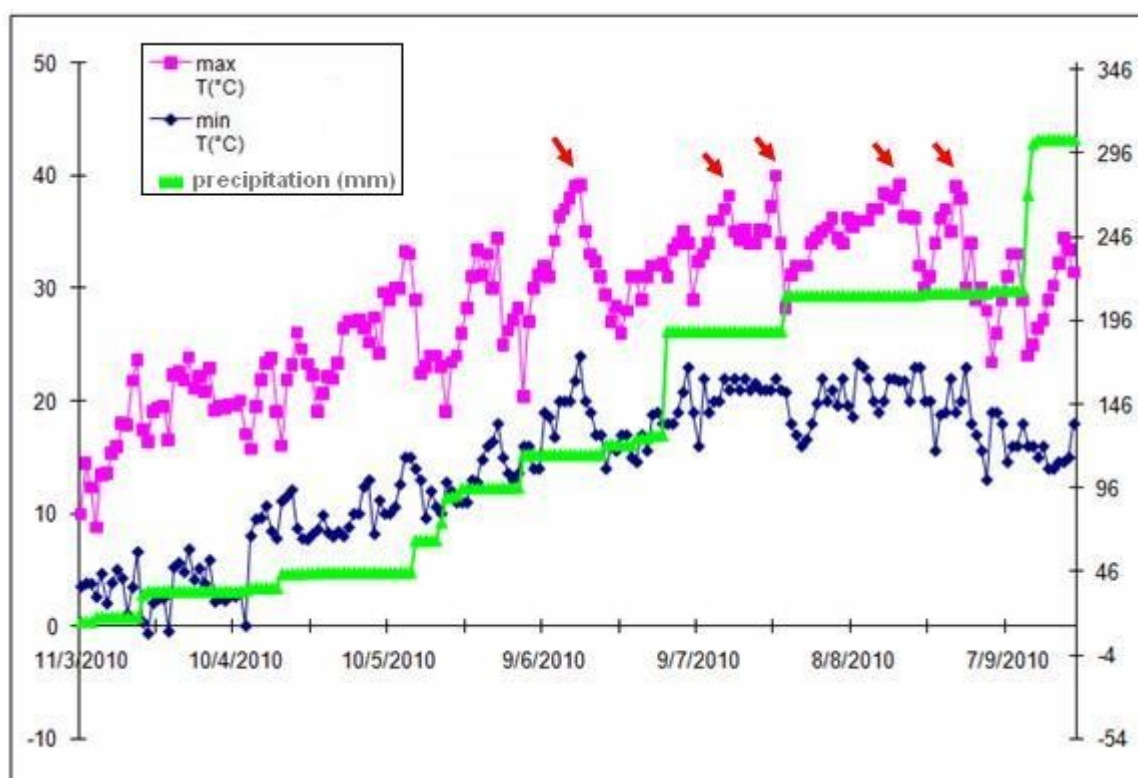
Συγκομιδή+μεταφορά	30	22
Συνολικό κόστος	171,1	173

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων στηρίχτηκε στο υποτιθέμενο σενάριο παραγωγής και πώλησης του switchgrass στηριζόμενο στο αποτελέσματα παραγωγής από το διεξαχθέν πείραμα και στις τιμές αγοράς από εταιρίες μεταποίησης βιομάζας που υφίστανται στη περιοχή της Θεσσαλίας.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Κλιματολογικές συνθήκες

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται η θερμοκρασία και η βροχόπτωση που παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2010. Τα αναλυτικά δεδομένα (ημερήσιες, μέσες τιμές, ύψος νετού κτλ.) δίνονται στον Πίνακα 1 στο παράρτημα.



Διάγραμμα 1. Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία και βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του πειράματος (2010).

Η περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας, στην οποία έγινε το πείραμα, χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους υγρούς χειμώνες. Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1, η μέγιστη θερμοκρασία κυμάνθηκε μεταξύ 30-38 °C κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κυμάνθηκε από 12 έως 24 °C. Κρίνεται απαραίτητο να σημειωθεί ότι το καλοκαίρι αυτό χαρακτηρίστηκε ως πολύ θερμό με παραταταμένες περιόδους καύσωνα (>35°C) για τις ημερομηνίες (16/6, 15/7, 24/7, 17/8, 28/8), αναλυτικότερα στον Πίνακα 1 του παραρτήματος.

Η περίοδος ανάπτυξης της καλλιέργειας ήταν άκρως βροχερή για την περιοχή με συνολική βρόπτωση να ξεπερνάει τα 303 mm. Οι βροχοπτώσεις ξεκίνησαν από την αναβλάστηση ακόμη της καλλιέργειας στα μέσα Μαρτίου με ύψος υετού 40 mm. Κατά τη διάρκεια Απριλίου – Μαΐου οι βροχοπτώσεις που επικράτησαν ήταν σποραδικές. Στους καλοκαιρινούς μήνες που ακολούθησαν σημειώθηκε βροχόπτωση περί τα 200 mm με την μεγαλύτερη βροχόπτωση να σημειώνεται κατά τον μήνα Ιούλιο. Τέλος στα μέσα Σεπτεμβρίου επικράτησαν έντονες βροχοπτώσεις με 80 mm βροχής κάτι που καθυστέρησε την πλήρη ωρίμανση της καλλιέργειας.

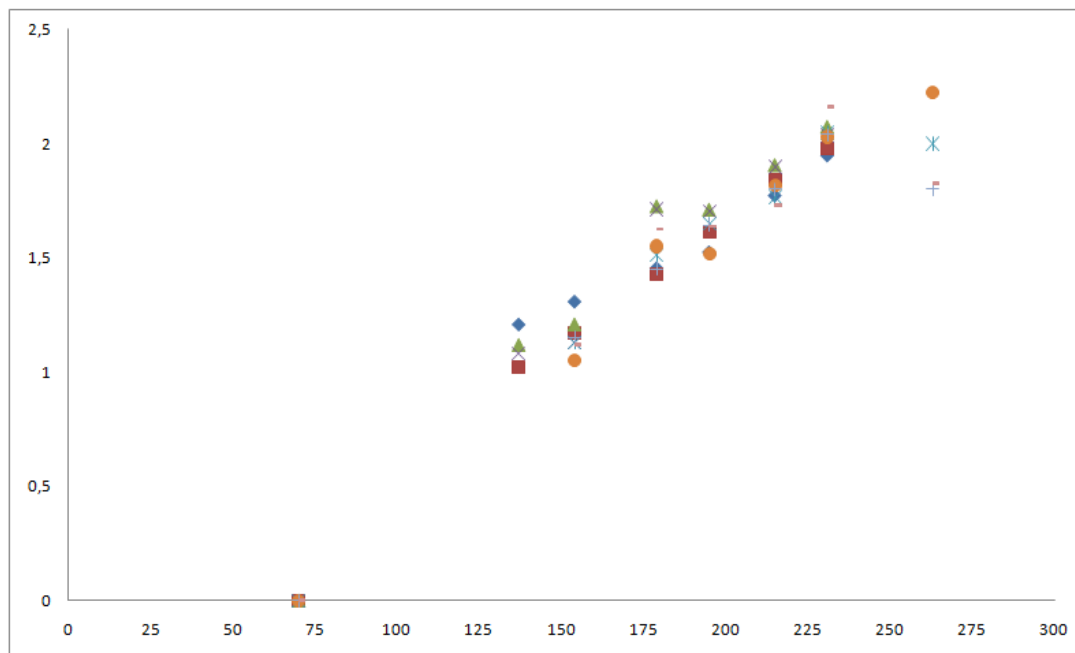
Συνοψίζοντας αυτές τις καιρικές συνθήκες μπορεί κανείς να αναλογισθεί και να οδηγηθεί στο συμπέρασμα πριν ακόμη δει την ανάλυση αύξησης-ανάπτυξης του φυτού, ότι η καλλιέργεια του switchgrass σε σύγκριση με άλλες καλλιέργειες και άλλες περιοχές, μπορεί να εγκατασταθεί και ως ξηρική καλλιέργεια με τον παράγοντα της άρδευσης να έχει ελάχιστη έως μηδενική επίδραση.

3.2 Αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας

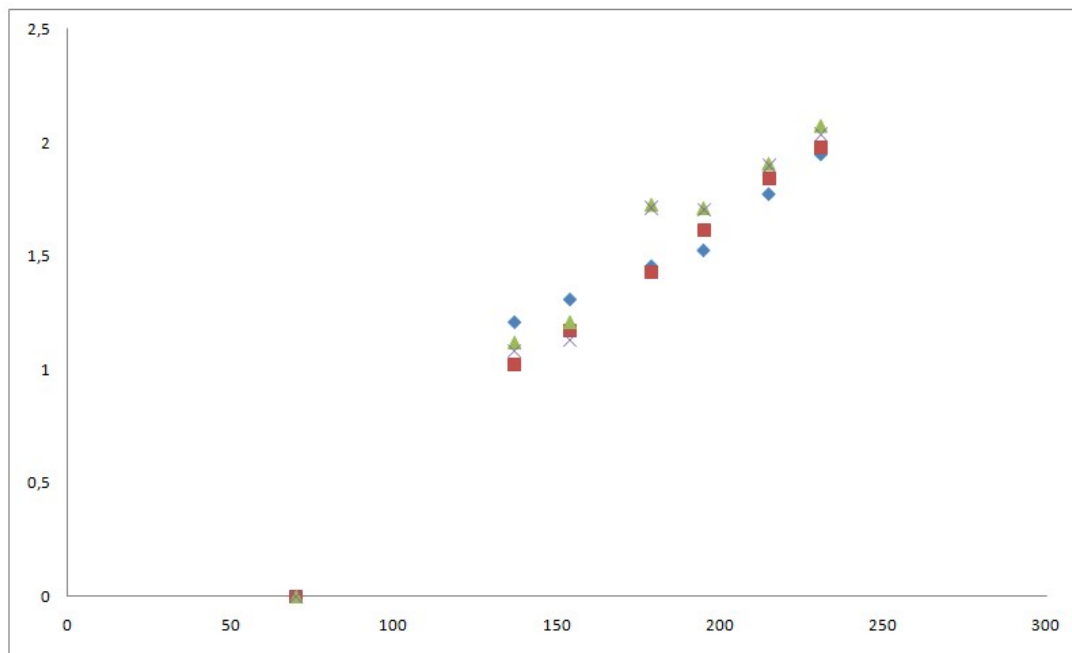
3.2.1 Ύψος φυτών

Στο Διάγραμμα 2(α), παρουσιάζεται η μεταβολή του ύψους των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης. Αναλυτικότερα στα Διαγράμματα 1(β)&(γ), παρουσιάζεται η επίδραση της λίπανσης (N_1 , N_2 , N_3 , N_4) στα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I_1 και I_2) ως προς τις Ιουλιανές Ημέρες (Πίνακας 2, παράρτημα) στον Παλαμά (2009-2010).

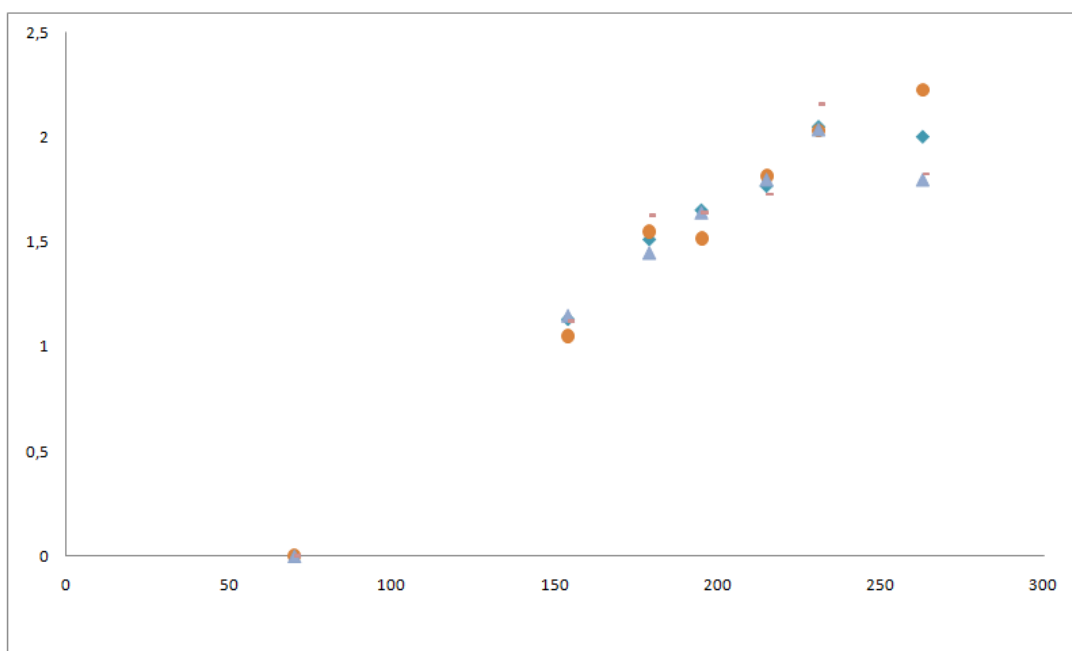
Το switchgrass αναβλάστησε (>50% των φυτών της καλλιέργειας) στις 10/3/2010. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1(α), οι διαφορετικοί παράγοντες (άρδευση και λίπανση) δεν επέφεραν σημαντική επίδραση στο ύψος των φυτών. Το μεγαλύτερο ύψος στην καλλιέργεια (2,3m) σημειώθηκε στις 20 Σεπτεμβρίου για την αρδευόμενη καλλιέργεια με λίπανση 8 μονάδων αζώτου (I_2N_2). Όπως προαναφέρθηκε στα κλιματολογικά δεδομένα η μη σημαντική διαφορά στο ύψος οφείλεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στη μεγάλη διαθεσιμότητα νερού λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων κατά τον μήνα Ιούλιο και το Σεπτέμβριο.



Διάγραμμα 2(α). Ύψος των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (♦ I_1N_1 , ■ I_1N_2 , ▲ I_1N_3 , × I_1N_4 , * I_2N_1 , ● I_2N_2 , + I_2N_3 , - I_2N_4).



Διάγραμμα 2(β). Ύψος των φυτών για το επίπεδο άρδευσης (I_1) και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (♦ I_1N_1 , ■ I_1N_2 , ▲ I_1N_3 , × I_1N_4).



Διάγραμμα 2(γ). Ύψος των φυτών για το επίπεδο άρδευσης (I_2) και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (♦ I_2N_1 , ● I_2N_2 , ▲ I_2N_3 , — I_2N_4).

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1, η καλλιέργεια κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης είχε ρυθμό μεταβολής ύψους που κυμαινόταν από 1,25 έως 1,56 cm/ημέρα (11/3/2010 - 3/6/2010). Οι μεγαλύτεροι ρυθμοί αύξησης του ύψους των φυτών παρατηρήθηκαν για την αρδευόμενη καλλιέργεια κατά τη διάρκεια του Αυγούστου, όπου επικρατούσαν υψηλές θερμοκρασίες αέρος και λιγοστή έως μηδενική βροχόπτωση (της τάξης των 10mm). Οι ρυθμοί αύξησης για την περίοδο αυτή κυμάνθηκαν για την ξηρική καλλιέργεια 1,4 - 1,7 cm/ημέρα και για την ποτιστική 2,1 - 4,3 cm/ημέρα με τον μεγαλύτερο ρυθμό να παρατηρείται για την αρδευόμενη μεταχείριση με τη μέγιστη λίπανση (I₂N₄).

Πίνακας 1. Ύψος φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις (2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2010.

Jd*	I₁N₁	I₁N₂	I₁N₃	I₁N₄	I₂N₁	I₂N₂	I₂N₃	I₂N₄
70	0	0	0	0	0	0	0	0
137	1,21	1,02	1,12	1,08	-	-	-	-
154	1,31	1,17	1,21	1,13	1,13	1,05	1,15	1,12
179	1,46	1,43	1,73	1,71	1,51	1,55	1,45	1,63
195	1,53	1,61	1,71	1,70	1,65	1,52	1,64	1,64
215	1,78	1,84	1,91	1,90	1,77	1,82	1,80	1,73
231	1,95	1,98	2,08	2,04	2,05	2,03	2,04	2,16
263	-	-	-	-	2,00	2,23	1,80	1,83

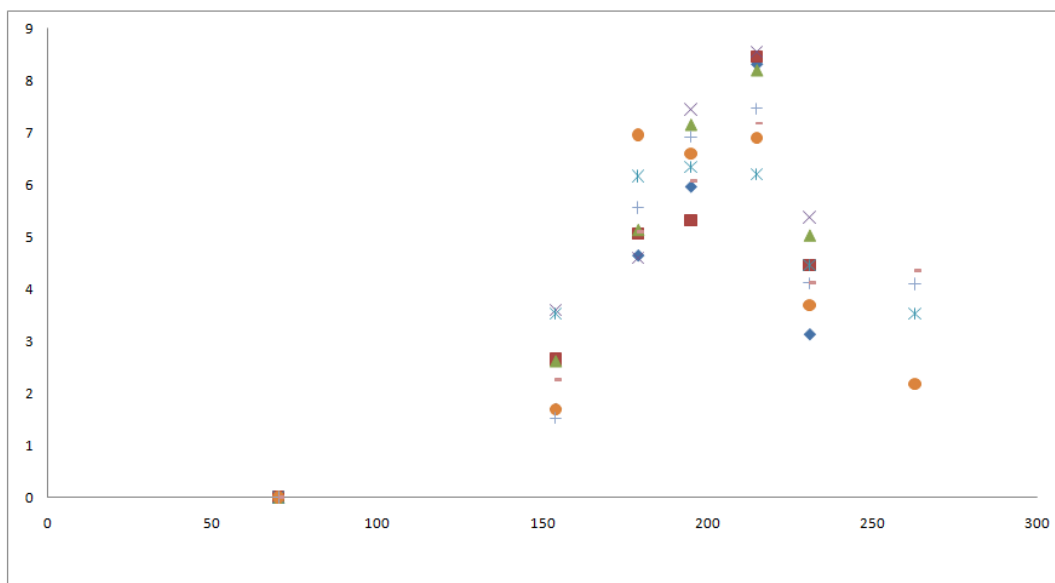
*Jd= Julian days

3.2.2 Ειδική Φυλλική Επιφάνεια και Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας

Όπως είναι γνωστό, η ανάπτυξη της φυλλοστοιβάδας είναι μεγάλης σημασίας για την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη φωτοσύνθεση. Εξαρτάται από το ποσό των φωτοσυνθετικών παραγώγων που επενδύονται για την ανάπτυξη των φύλλων και τον λόγο της παραγόμενης φυλλικής επιφάνειας ανά μονάδα ξηρού βάρους των φύλλων. Η Ειδική Φυλλική Επιφάνεια (SLA, m^2/kg), ή το αντίθετό της το Ειδικό Φυλλικό Βάρος ($=1/\text{SLA}$) είναι ένα μορφολογικό χαρακτηριστικό που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ηλικία του φυτού.

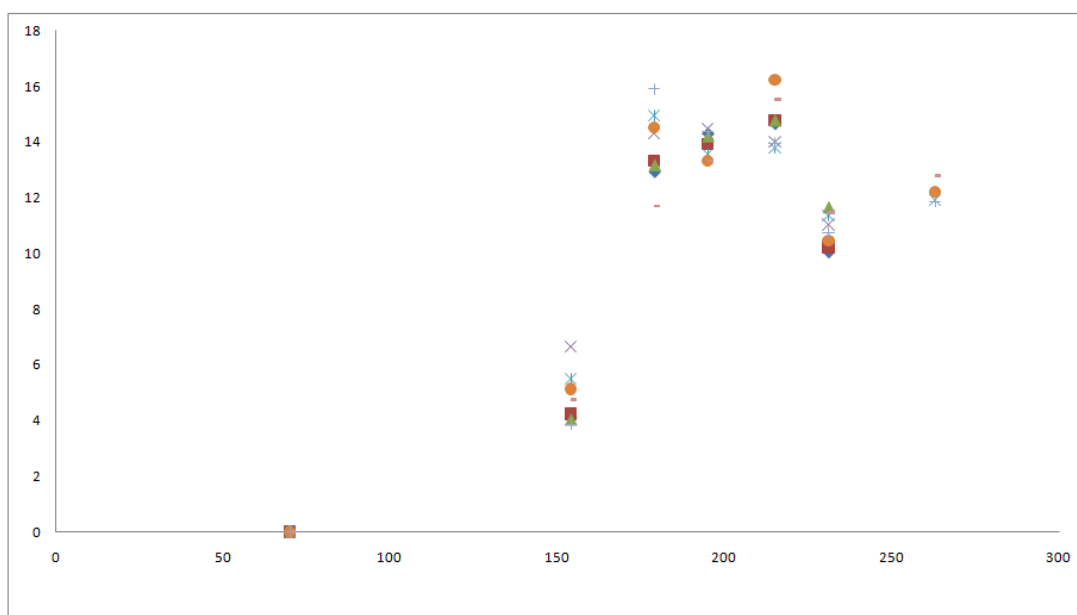
Πολλοί συγγραφείς υπογράμμισαν την αντίστροφη συσχέτιση της SLA με την ένταση του φωτός και τη θετική της εξάρτηση από τη θερμοκρασία (Brower *et al.*, 1973, Driessen & Konijn, 1992). Οι Danalatos *et al.* (1994) έδειξαν ότι η συνολική SLA του καλαμποκιού μειώνεται κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Μελετώντας το φαινόμενο σε διαφορετικές περιοχές ο Sibma (1987) κατέληξε ότι η πάχυνση των υπαρχόντων φύλλων και ο σχηματισμός των νέων λεπτότερων φύλλων ευθύνονται για το γεγονός αυτό. Με βάση δεδομένα από την περιοχή της Λάρισας, ο Danalatos (1993) βρήκε ότι η SLA του σκληρού σίτου ποικιλίας «Μεξικάλι» μειώνεται με την ηλικία του φυτού με τη λογαριθμική συνάρτηση: $\text{SLA}=15.16-14.62*\ln(\text{DVS})$, όπου DVS είναι το φαινολογικό στάδιο ανάπτυξης.

Στα Διαγράμματα 3,4 παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (αντίστοιχα) των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για τα δύο επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης ως προς τις Ιουλιανές Ημέρες (Πίνακας 2, παράρτημα) στον Παλαμά (2009-2010).



Διάγραμμα 3. Μεταβολή του LAI των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης του Switchgrass στον Παλαμά (♦ I₁N₁, ■ I₁N₂, ▲ I₁N₃, × I₁N₄, * I₂N₁, ● I₂N₂, + I₂N₃, - I₂N₄).

Όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 3, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) στις αρχές Ιουνίου κυμάνθηκε από 1,7 έως 3,5 και στις αρχές Αυγούστου (3/8/2010) έφτασε περί το 8,5. Η ταχεία αυτή αύξηση της φυλλοστοιβάδας οφείλεται στον υψηλό υετό που σημειώθηκε κυρίως κατά τον μήνα Ιούλιο και τις αυξημένες θερμοκρασίες αέρα καθόλη τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια ωρίμανσης της καλλιέργειας ο LAI κυμάνθηκε σε τιμές 3-4 λόγω της ξήρανσης-πτώσης των φύλλων. Τιμή που αποδεικνύει ότι η καλλιέργεια κατά την τελευταία κοπή δεν βρισκόταν στην πλήρη ωρίμανσή της.

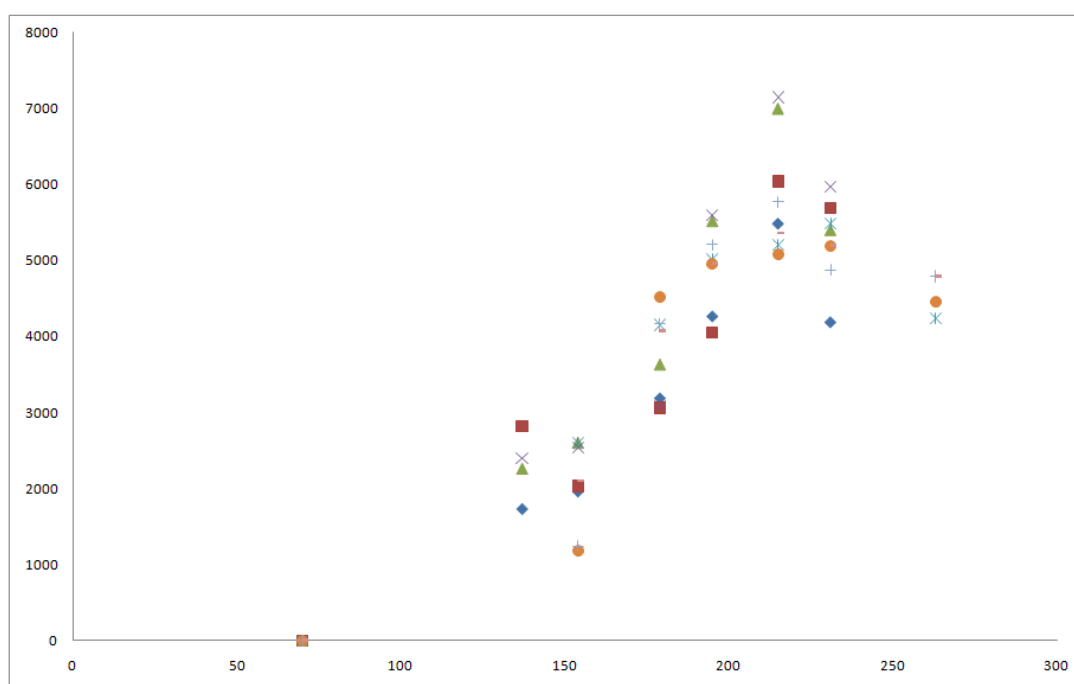


Διάγραμμα 4. Μεταβολή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) των φυτών, για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης του Switchgrass στον Παλαμά (♦ I₁N₁, ■ I₁N₂, ▲ I₁N₃, × I₁N₄, * I₂N₁, ● I₂N₂, + I₂N₃, - I₂N₄).

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα ο SLA κατά τα πρώτα στάδια της καλλιέργειας στις αρχές Ιουνίου έλαβε τιμές περί τα 5,5 m²/kg. Με την άνοδο της θερμοκρασίας και λόγω των βροχοπτώσεων όταν δείκτης φυλλικής επιφάνειας είχε φτάσει στην μέγιστη τιμή τότε η ειδική φυλλική επιφάνεια έφτασε τα 15 m²/kg. Τέλος στα τέλη Σεπτεμβρίου, λόγω της ξήρανσης-πτώσης των φύλλων κατά την τελευταία κοπή, ο SLA πήρε τιμές γύρω στο 12 m²/kg.

3.2.3 Συνολικό Χλωρό Βάρος Φυτών

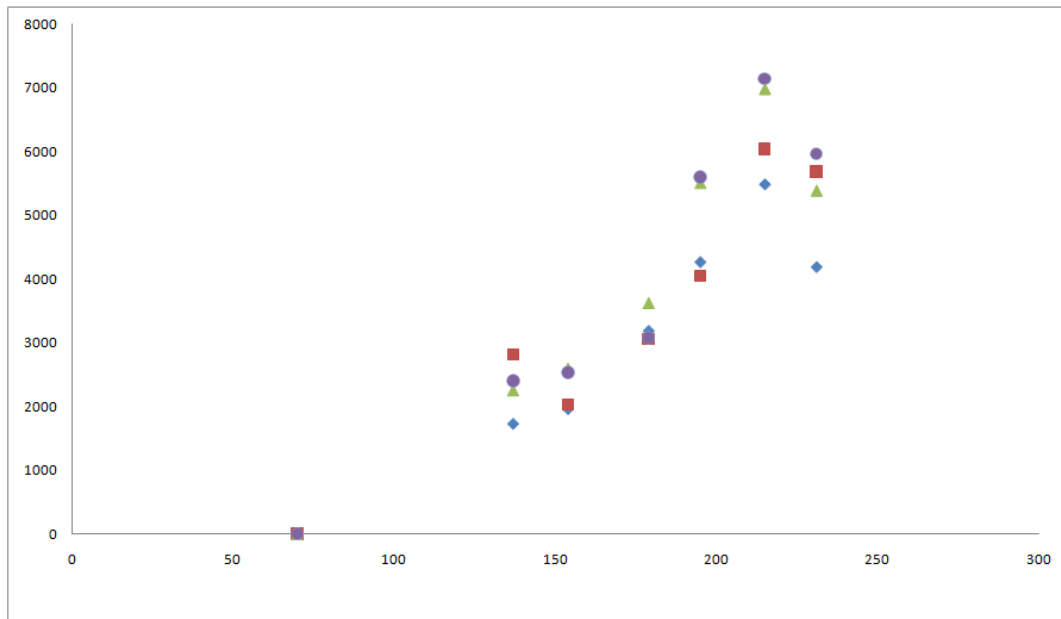
Στο Διάγραμμα 5(α) παρουσιάζεται η μεταβολή του βάρους των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για τα δύο επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης. Παράλληλα για την μεγαλύτερη ευκρίνεια των τιμών παρατίθενται τα Διαγράμματα 5 (β)&(γ), όπου παρουσιάζεται η επίδραση της λίπανσης (N_1 , N_2 , N_3 , N_4) στα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I_1 και I_2) ως προς τις Ιουλιανές Ημέρες (Πίνακας 2, αράρτημα) στον Παλαμά (2009-2010).



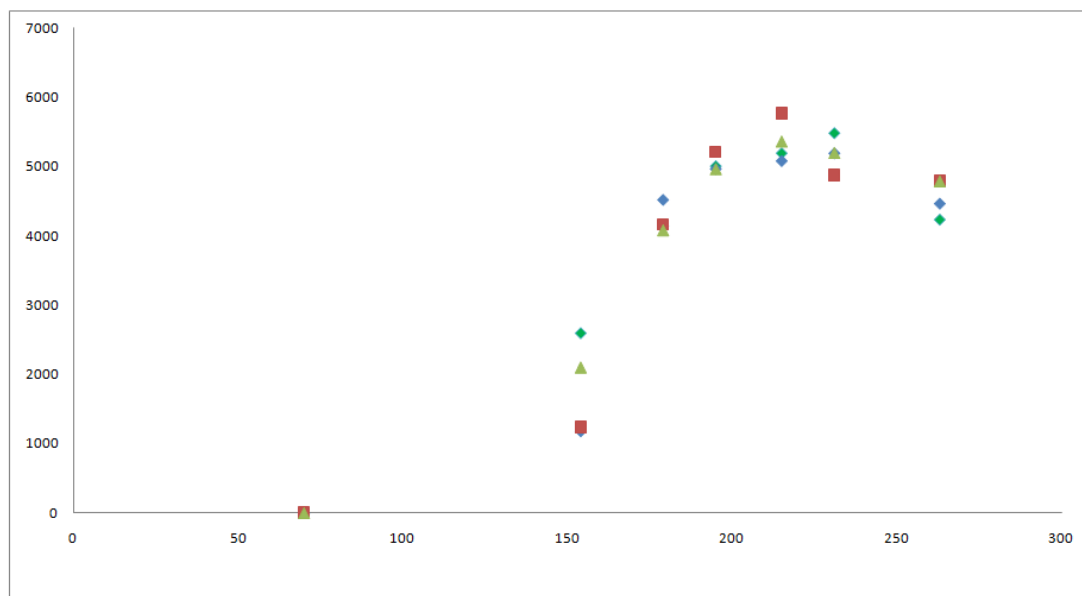
Διάγραμμα 5(α). Μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (♦ I_1N_1 , ■ I_1N_2 , ▲ I_1N_3 , × I_1N_4 , * I_2N_1 , ● I_2N_2 , + I_2N_3 , - I_2N_4)

Το φυτό κατά τη διάρκεια της πρώτης βλαστικής ανάπτυξης όπου επεκράτησαν ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας-βροχόπτωσης, σημείωσε υψηλούς ρυθμούς αύξησης έτσι ώστε μέχρι τις αρχές του καλοκαιριού (3 Ιουνίου 2010) να έχει φτάσει περί τα 2031 kg (1180-2600 kg ανά στρέμμα) χλωρής βιομάζας ανά στρέμμα. Κατά τη διάρκεια του Ιουνίου λόγω των λιγοστών βροχπτώσεων που σημειώθηκαν, το φυτό έχει μειωμένη αύξηση για την απότιστη καλλιέργεια. Οι δε ρυθμοί αύξησης της χλωρής βιομάζας εκείνη την περίοδο είναι περί τα 32 kg ανά ημέρα στην ξηρική έναντι των 88 kg ανά ημέρα στην ποτιστική. Κατά τη διάρκεια όμως του Ιουλίου και

έπειτα η ξηρική καλλιέργεια ανακάμπτει και δίνει και παραγωγή ίση με την ποτιστιστική.



Διάγραμμα 5(β). Μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών για το επίπεδο άρδευσης (I₁) και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (♦ I₁N₁, ■ I₁N₂, ▲ I₁N₃, ● I₁N₄)



Διάγραμμα 5(γ). Μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών για το επίπεδο άρδευσης (I₂) και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (♦ I₂N₁, ♦ I₂N₂, ■ I₂N₃, ▲ I₂N₄)

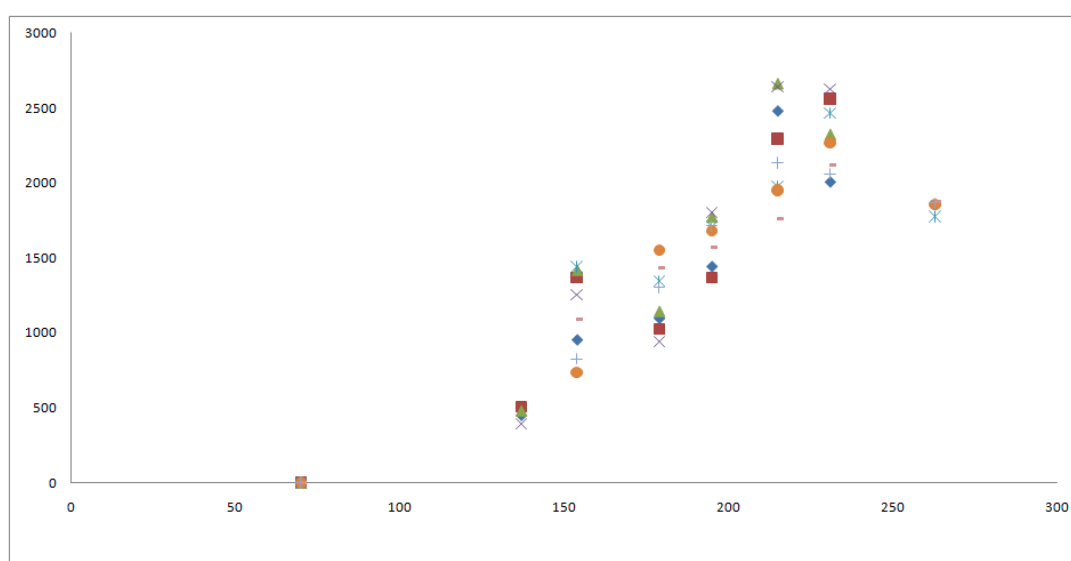
Κατά την πέμπτη δειγματοληψία στις αρχές Αυγούστου (3/8/2010) παρατηρήθηκε η υψηλότερη τιμή χλωρής βιομάζας περί τα 5882 kg/στρ, εκ των

οποίων τα 1440 kg/στρ αποτελούσαν τα φύλλα (25%), ανεξάρτητα από τα επίπεδα άρδευσης και αζωτούχου λίπανσης. Η απόδοση της καλλιέργειας θεωρείται άκρως ικανοποιητική αν λάβουμε υπόψη ότι η καλλιέργεια βρισκόταν στο 2^ο έτος της εγκατάστασής της και για να μπει στην πλήρη παραγωγή χρειάζεται τουλάχιστον 3 χρόνια.

Οι ρυθμοί αύξησης της χλωρής βιομάζας από το φύτευμα έως και την τελική δειγματοληψία (20/9/2010) ήταν περί τα 32,9 και 32,1 kg ανά ημέρα για την ξηρική και ποτιστική καλλιέργεια αντίστοιχα.

3.2.4 Συνολικό ξηρό βάρος φυτών

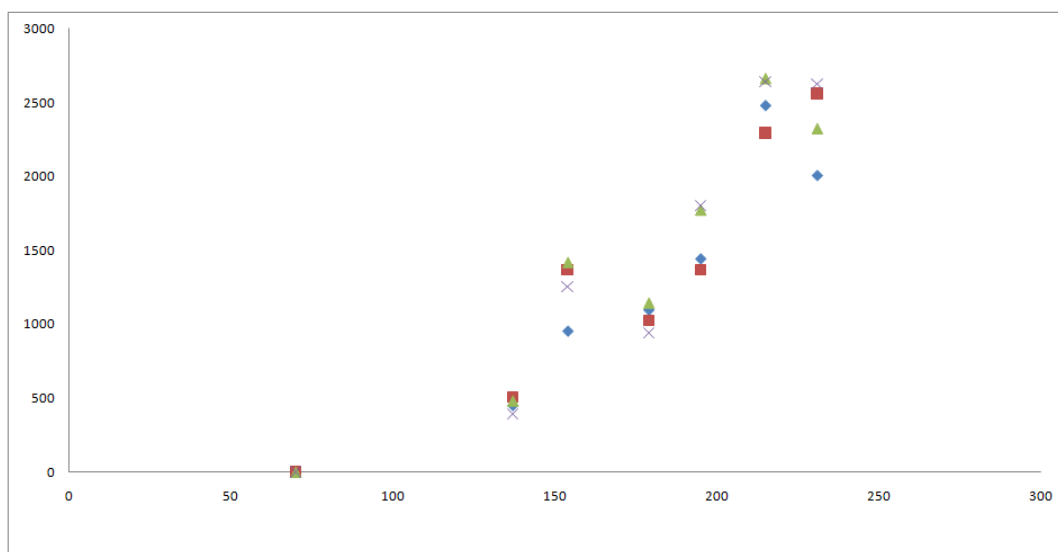
Στο Διάγραμμα 6(α) παρουσιάζεται η μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης. Για την επιπλέον ευκρίνεια των τιμών, στα Διαγράμματα 6 (β)&(γ) παρουσιάζεται η επίδραση της λίπανσης (N_1 , N_2 , N_3 , N_4) στα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I_1 και I_2) ως προς τις Ιουλιανές Ημέρες (Πίνακας 2, παράρτημα) στον Παλαμά (2009-2010).



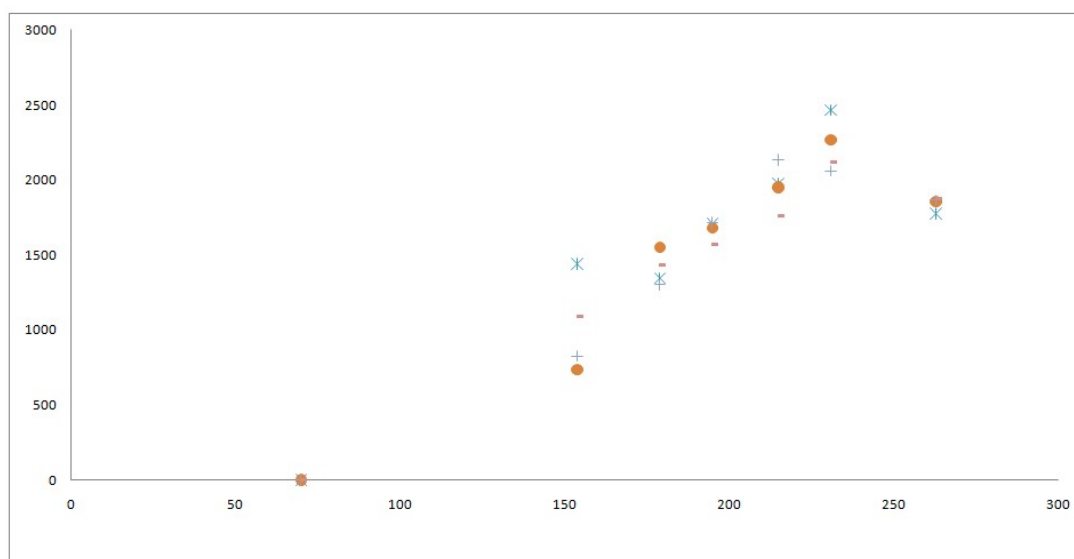
Διάγραμμα 6(α). Μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης ($\diamond I_1N_1$, $\blacksquare I_1N_2$, $\blacktriangle I_1N_3$, $\times I_1N_4$, $\ast I_2N_1$, $\bullet I_2N_2$, $+$ I_2N_3 , $- I_2N_4$)

Το φυτό κατά τη διάρκεια της πρώτης βλαστικής ανάπτυξης όπου επεκράτησαν ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας-βροχόπτωσης, σημειώσει υψηλούς ρυθμούς αύξησης έτσι ώστε μέχρι τις αρχές του καλοκαιριού (3 Ιουνίου 2010) να έχει φτάσει περί τα 1135 kg (735-1440 kg ανά στρέμμα) ξηρής βιομάζας ανά στρέμμα. Κατά τη διάρκεια του Ιουνίου λόγω των λιγοστών βροχπτώσεων που σημειώθηκαν, το φυτό όπως έχει προαναφερθεί, έχει μειωμένη αύξηση για την απότιστη καλλιέργεια. Οι ρυθμοί αύξησης της ξηρής βιομάζας εκείνη την περίοδο είναι περί τα 14,8 kg ανά ημέρα στην ξηρική έναντι των 12,2 kg ανά ημέρα στην ποτιστική. Κατά

τη διάρκεια όμως του Ιουλίου και έπειτα η ξηρική καλλιέργεια ανακάμπτει και δίνει και παραγωγή ίση με την ποτιστιστική.



Διάγραμμα 6(β). Μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών για το επίπεδο άρδευσης (I_1) και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (♦ I_1N_1 , ■ I_1N_2 , ▲ I_1N_3 , ✕ I_1N_4).



Διάγραμμα 6(γ). Μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών για το επίπεδο άρδευσης (I_2) και τα 4 επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (* I_2N_1 , ● I_2N_2 , + I_2N_3 , - I_2N_4).

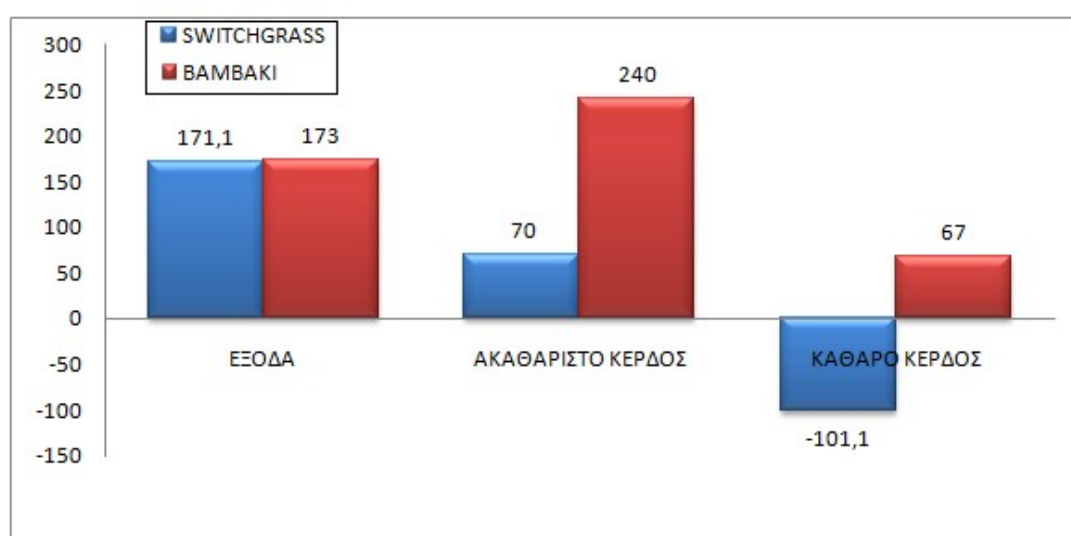
Κατά την πέμπτη δειγματοληψία στις αρχές Αυγούστου (3/8/2010) παρατηρήθηκε η υψηλότερη τιμή ξηρής βιομάζας περί τα 2659 kg/στρ. Ο λόγος της ξερήςβιομάζας προς τη χλωρή κατά την τελική κοπή ισούται με 40%, κάτι που

υποδηλώνει για ακόμη μία φορά πως η καλλιέργεια (λόγω των βροχοπτώσεων κατά τον Σεπτέμβριο) δεν είχε ωριμάσει πλήρως.

Οι ρυθμοί αύξησης της ξερής βιομάζας από το φύτευμα έως και την τελική δειγματοληψία (20/9/2010) ήτανε περί τα 14,8 και 13,83 kg ανά ημέρα για την ξηρική και ποτιστική καλλιέργεια αντίστοιχα.

3.4 Οικονομική σύγκριση καλλιέργειας

Η σύγκριση των καλλιεργειών του switchgrass με το βαμβάκι όπως προαναφέρθηκε έγινε χωρίς να συνυπολογισθούν οι επιδοτήσεις λόγω της επερχομένης αλλαγής της ΚΓΠ το 2013. Βρέθηκε λοιπόν, όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 7, ότι τα έξοδα του switchgrass αν και πολυετής καλλιέργεια είναι εξίσου ίσα με τα έξοδα της καλλιέργειας του βαμβακιού (ετήσια καλλιέργεια).

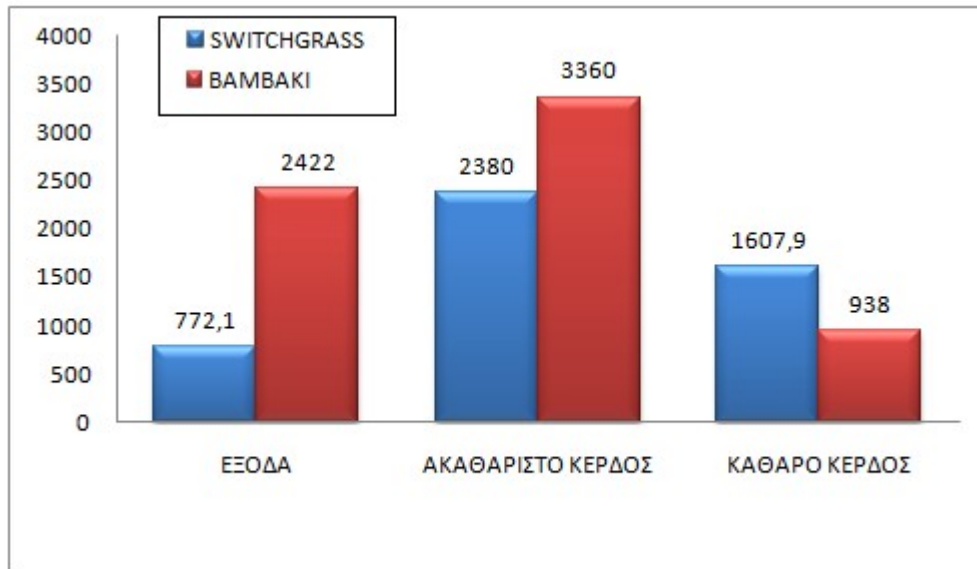


Διάγραμμα 7. Σύγκριση εξόδων, ακαθάριστου κέρδους και καθαρού κέρδους των καλλιεργειών switchgrass και βαμβακιού κατά την χρονιά εγκατάστασης.

Το Switchgrass ως πολυετής καλλιέργεια εισέρχεται στην πλήρη παραγωγή στον τρίτο χρόνο της εγκατάστασης του στον αγρό. Επομένως λόγω των υψηλών εξόδων εγκατάστασης και της χαμηλής παραγωγής που αποδίδει κατά το πρώτο έτος ο παραγωγός δεν έχει έσοδα. Αποτελεί δηλαδή μια καλλιέργεια επένδυση που θα αρχίσει να αποφέρει έσοδα στον παραγωγό από το δεύτερο έτος και έπειτα, ενώ στο τρίτο θα αρχίσει να αποφέρει το μέγιστο παραγωγής-εσόδων.

Όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 8, για τον πλήρη κύκλο ανάπτυξης της καλλιέργειας του Switchgrass (14 χρόνια) το συνολικό εισόδημα του παραγωγού ανέρχεται στα 1608 € ανά στρέμμα όταν τα συνολικά έξοδα που έχει καθόλη τη διάρκεια των 14 αυτών χρόνων είναι μόλις 772 € ανά στρέμμα. Από την άλλη μεριά ένας βαμβακοπαραγωγός που θα έσπερνε βαμβάκι στο χωράφι του για 14 συνεχή

χρόνια, θα είχε καθαρό εισόδημα 938 € ανά στρέμμα ενώ τα έξοδά του ανέρχοντα στα 2422 € ανά στρέμμα (για 14 έτη).



Διάγραμμα 8. Σύγκριση εξόδων, ακαθάριστου κέρδους και καθαρού κέρδους των καλλιεργειών switchgrass και βαμβακιού για 14 χρόνια.

Παρατηρείται λοιπόν μετά την ολοκλήρωση των 14 ετών και κατόπιν αναγωγής στο έτος ότι αν ο παραγωγός καλλιεργήσει Switchgrass έναντι βαμβακιού, τότε ετήσιο εισόδημά του θα ανέρθει στα 114,85 € ανά στρέμμα με ετήσια αναγόμενα έξοδα περί τα 55,15 € ανά στρέμμα. Αντιθέτως το ετήσιο εισόδημα του βαμβακοπαραγωγού ανέρχεται στα 67 € ανά στρέμμα και τα ετήσια έξοδα περί τα 173 € ανά στρέμμα.

Φαίνεται λοιπόν πως ένας παραγωγός που θα αντικαταστήσει την καλλιέργεια του βαμβακιού με Switchgras, τότε ο παραγωγός έχει ένα επιπλέον ετήσιο κέρδος της τάξεως των 47,85 € ανά στρέμμα. Εδώ κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι επιπλέον ο παραγωγός ξοδεύει 117,85 € ανά στρέμμα λιγότερα και επιπλέον η καλλιέργεια του Switchgrass είναι πιο ξεκούραστη και ο παραγωγός δεν έχει το ίδιο άγχος με την καλλιέργεια του βαμβακιού.

Συμπεράσματα

Η καλλιέργεια του Switchgrass (*Panicum virgatum*) παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως μια εναλλακτική καλλιέργεια που θα έχει πρωταρχικό ρόλο στην παραγωγή βιομάζας και ως πρώτη ύλη σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.

Ως καλλιέργεια μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα μεγάλο εύρος εδαφικών και κλιματικών συνθηκών. Υπάρχει η δυνατότητα να καλλιεργηθεί σε σχετικά άγονα εδάφη, αμμώδη ή όξινα εκεί δηλαδή όπου οι παραδοσιακές καλλιέργειες έχουν πολύ χαμηλές αποδόσεις. Οι απαιτήσεις του σε νερό είναι χαμηλές, όπως και οι ανάγκες του σε φώσφορο και κάλιο. Επιπρόσθετα, οι ανάγκες του σε άζωτο δε ξεπερνούν αυτές των παραδοσιακών καλλιεργειών σε συνθήκες σαν τις ελληνικές, όπου μπορούν να επιτευχθούν και μέγιστες αποδόσεις. Έχει χαμηλές ανάγκες σε αγροχημικά εκτός από τη χρονιά της εγκατάστασης που χρειάζεται υψηλή φροντίδα ώστε να καταστεί ανταγωνίσιμο των ζιζανίων.

Στην χώρα μας μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της εδαφικής ποιότητας εμπλουτίζοντας το έδαφος με άνθρακα. Ως πολυετής καλλιέργεια και λόγω του πλούσιου και βαθύ ριζικού συστήματος του έχει ευνοϊκές επιδράσεις στη διάβρωση των εδαφών και τη προστασία από το φαινόμενο της ερημοποίησης που θα αντιμετωπίσουν πολλές περιοχές στο άμεσο μέλλον λόγω της εντατικής γεωργίας και των υψηλών εισροών.

Η καλλιέργεια του switchgrass μπορεί να επιδράσει θετικά στη μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου μέσω της αυξημένης αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα στις ρίζες και στην οργανική ύλη του εδάφους. Επιπλέον ως πολυετής καλλιέργεια συμβάλει στην μείωση του CO₂ λόγω της μειωμένης οξείδωσης του χώματος από τις ετήσιες προετοιμασίες αγρού (όργωμα, καλλιεργητής κτλ) που επικρατούν στις παραδοσιακές καλλιέργειες.

Τέλος, το switchgrass συμβάλλει στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και των άγριων ειδών αφού αποτελεί ενδιαίτημα για την άγρια πανίδα, αλλά και καταφύγιο διαφορετικών ειδών πουλιών.

Ο παραγωγός που θα αντικαταστήσει την καλλιέργεια του βαμβακιού με Switchgras αποκτάει ένα επιπλέον ετήσιο κέρδος της τάξεως των 47,85 € ανά στρέμμα. ενώ παράλληλα ξοδεύει 117,85 € ανά στρέμμα λιγότερα για μια

καλλιέργεια του πιο ξεκούραστη και με λιγότερο άγχος σε σύγκριση με την καλλιέργεια του βαμβακιού.

Συνοψίζοντας, καταλαβαίνουμε το πόσο σημαντική είναι η καλλιέργεια του Switchgrass και πόσο μπορεί να συμβάλει θετικά σε ένα μεγάλο εύρος τομέων (ενέργεια, ερημοποίηση, προστασία περιβάλλοντος, χαμηλές εισροές). Κρίνεται σκόπιμο όμως να διεξαχθεί περαιτέρω διεξοδική έρευνα για αυτή την καλλιέργεια ώστε να μελετηθούν όσο το δυνατόν περισσότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση. Σε συνδυασμό με τις επιδοτήσεις που πρόκειται να συζητηθούν στην ΚΓΠ το 2013 για τις ενεργειακές καλλιέργειες μπορεί να γίνει ακόμη περισσότερο ανταγωνιστική σε οικονομικό επίπεδο σε σχέση με τις σημερινές παραδοσιακές καλλιέργειες.

Βιβλιογραφία

A Publication of ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service, 2006, Switchgrass as a bioenergy crop (<http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/switchgrass.pdf>)

Alan Teel, Stephen Barnhart Switchgrass Seeding Recommendations for the Production of Biomass Fuel in Southern Iowa

Alexopoulou A. and Cristou M., YEAR EFFECT ON SWITCHGRASS BIOMASS PRODUCTION

Alexopoulou E. , Sharma N., Papatheohari Y.(2008), Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region

Alexopoulou N. Sharma, Y. Papatheohari^c, (2008). Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region

Ball D.M. Hoveland C.S., and Lacefield G.D. (2002), «Southern Forages, 3rd edition», International Plant Nutrition Institute, p. 26.

Eldersen H., Cristian D., Bassam N., Sauerbeck G., Alexopoulou E., Sharma N., Fahmi R., Bridgwater A.V., Darvell L.I., Jones J.M., Yates N., Thain S. and Donnison I.S., (2007), «The effect of alkali metals on combustion and pyrolysis of Lolium and Festuca grasses, switchgrass and willow». Fuel, Vol.86, pages 1560-1569.

Frank A.B., Berdahl J.D., Hanson J.D., Liebig M.A. and Johnson H.A., (2004), «Biomass and carbon partitioning in switchgrass», Crop Science, Vol.44, pages 1391-1396.

James P. Muir^{*a}, Matt A. Sanderson^b, William R. Ocumpaugh^c (2000). Biomass Production of ‘Alamo’ Switchgrass in Response to Nitrogen, Phosphorus, and Row Spacing

Lemus R., Bnnnmer E.C, Moore K. J., Molstad N. E., Burras C.L., and Barker M. F. (2002) “Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA”, Biomass and Bioenergy, Volume 23, Pages 433-442.

Lewandowski I., Scurlock J.O., Lindvall E. and Christou M. (2003), “The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe”, Biomass and Bioenergy, Volume 25, Pages, 335-361

Liebig M.A., Johnson H.A., Hanson J.D. and Frank A.B., (2005), “Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland”, Biomass and Bioenergy, Vol. 28, Pages 347-354.
M. Minelli, L. Rapparini and G. Venturi.,(2004), Weed management in switchgrass crop .

Madakadze I.C., Stewart K., Peterson P.R., Coulman B.E., Samson R. and Smith D.L., (1998), “Light interception, use-efficiency and energy yield of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) grown in a, short season area”. Biomass and Bioenergy, Volume 15, Pages 475-482.

McLaughlin S. B. and Walsh M. E., (1998), “Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy”, Biomass and Bioenergy, vol.14. pages 317-324.

McLaughlin S. B., Kszos L. A., (2005), “Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States”, *Biomass and Bioenergy* Vol. 28 pages 515-535.

Monti A., Fazio S., Lychnaras V., Soldatos P. and Venturia G., (2007), “A full economic analysis of switchgrass under different scenarios in Italy estimated by BEE model”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, pages 177-185.

Piscioneri I., (2004), «A management guide for planting and production switchgrass as a biomass crop in Europe», 2nd Conference on Biomass for Energy Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome Italy.

Ritchie, J.T., NeSmith, D.S., (1991). Temperature and crop development .

Samson, R., (2007). Switchgrass Production in Ontario: A Management Guide.

Schmer M. R., Vogel K. P., Mitchell R. B., and Perrin R. K. (2008). "Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass", *PNAS* 105 (2): 464-469

USDA, United States Department of Agriculture, (2008), “[Plant Fact Sheet, Panicum virgatum](#)”, [Natural Resources Conservation Service](#), Plant Materials Program.

Μ. Χρήστου, Ε. Αλεξοπούλου, Β. Λυχναράς, Ε. Νάματοβ. (2006) Ενεργειακές καλλιέργειες στον ευρωπαϊκό και ελληνικό χώρο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

SWITCHGRASS, CARDOON AND MISCANTHUS PERENNIAL CROPS AS ALTERNATIVES FOR SOLID BIO-FUEL PRODUCTION IN CENTRAL GREECE

Giannoulis K.D., Danalatos N.G. and Sakellariou M.

University of Thessaly, Dept. of Agriculture, Crop Production & Rural Environment, Volos, Greece,
19th European Biomass Conference & Exhibition, Berlin, Germany, 2011

ABSTRACT: In this work, the performance of alternative, environmental –friendly land use systems involving energy crops versus existing traditional monocultures were evaluated in Thessaly plain. The cropping systems under study include switchgrass (*Panicum virgatum*), cynara (*Cynara cardunculus*) and miscanthus (*Miscanthus sinensis*) all being perennial energy crops that ensure minimum production cost and therefore optimum cost-benefit ratios. On the other site, Thessaly plain comprises the major lowland formation of Greece and the country's centre of agricultural production.

The results, which were based on the crop life cycle analysis, demonstrated that cynara still comprises the best alternative crop for energy production, both in rainfed and irrigated lands. Switchgrass comprises a second alternative, producing good quality biofuel but the crop has moderate water needs for maximum productivity. Due to its high potential productivity (C₄ crop), switchgrass might be preferable in areas where irrigation water is available and cheap as in west Thessaly plain and elsewhere. Finally, miscanthus is also a C₄ crop characterized by high production potential which can be realized in less fertile, sandy soils. The crop however has greater irrigation water needs and is characterized by increased establishment cost. It seems that miscanthus will be a good solution in poor sandy and gravelly soils in deltas and estuaries where groundwater is present in the summer months.

Πίνακας1. Ιουλιανές ημέρες

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

Πίνακας 2.Μετεωρολογικά δεδομένα 2010

Date	max T(°C)	min T(°C)	rain sum	Rainfall mm	%RH
11/3/2010	9,93	3,53	15,60	15,60	93,36
12/3/2010	14,47	3,83	15,60	0,00	82,12
13/3/2010	12,29	3,79	15,60	0,00	75,08
14/3/2010	8,74	2,6	18,40	2,80	82,25
15/3/2010	13,4	4,68	18,40	0,00	73,19
16/3/2010	13,57	2,03	18,40	0,00	67,08
17/3/2010	15,39	3,86	18,40	0,00	64,32
18/3/2010	15,93	5,03	18,40	0,00	67,63
19/3/2010	18,01	4,26	18,40	0,00	71,63
20/3/2010	17,89	1,03	18,40	0,00	77,85
21/3/2010	21,76	3,47	18,40	0,00	70,14
22/3/2010	23,63	6,61	18,40	0,00	65,84
23/3/2010	17,4	0,38	32,00	13,60	84,65
24/3/2010	16,37	-0,65	34,00	2,00	94,54
25/3/2010	19,08	2,06	34,00	0,00	83,44
26/3/2010	19,42	2,40	34,00	0,00	80,90
27/3/2010	19,49	2,47	34,00	0,00	82,93
28/3/2010	16,55	-0,47	34,00	0,00	61,34
29/3/2010	22,25	5,23	34,00	0,00	55,18
30/3/2010	22,66	5,64	34,00	0,00	65,92
31/3/2010	21,84	4,82	34,00	0,00	61,77
1/4/2010	23,86	6,84	34,00	0,00	60,93
2/4/2010	21,15	4,13	34,00	0,00	67,86
3/4/2010	22,16	5,14	34,00	0,00	68,14
4/4/2010	20,84	3,82	34,00	0,00	73,21
5/4/2010	22,91	5,89	34,00	0,00	71,40
6/4/2010	19,21	2,19	34,00	0,00	59,99
7/4/2010	19,5	2,48	34,00	0,00	62,71
8/4/2010	19,3	2,28	34,00	0,00	61,59
9/4/2010	19,72	2,70	34,00	0,00	64,48
10/4/2010	19,66	2,64	34,00	0,00	65,56
11/4/2010	19,99	2,97	34,00	0,00	68,76
12/4/2010	17,04	0,02	34,40	0,40	79,47
13/4/2010	15,69	8,02	35,80	1,40	80,44
14/4/2010	19,47	9,51	36,00	0,20	81,08
15/4/2010	21,87	9,63	36,00	0,00	81,25
16/4/2010	23,36	10,70	36,00	0,00	81,86
17/4/2010	23,81	8,45	36,00	0,00	78,32
18/4/2010	19,08	7,80	36,00	0,00	78,02
19/4/2010	15,99	11,12	44,40	8,40	94,47
20/4/2010	21,83	11,56	44,40	0,00	75,11

21/4/2010	23,15	12,12	44,40	0,00	51,68
22/4/2010	26,09	8,70	44,40	0,00	59,44
23/4/2010	24,61	7,80	44,40	0,00	63,67
24/4/2010	23,25	7,70	44,80	0,40	78,64
25/4/2010	22,26	8,20	44,80	0,00	71,35
26/4/2010	19,07	8,60	45,20	0,40	64,07
27/4/2010	20,63	9,87	45,20	0,00	62,86
28/4/2010	22,17	8,32	45,20	0,00	57,47
29/4/2010	21,94	7,96	45,20	0,00	56,64
30/4/2010	23,34	8,42	45,20	0,00	56,69
1/5/2010	26,4	8	45,20	0,00	58,57
2/5/2010	27	8,8	45,20	0,00	60,12
3/5/2010	27	10	45,20	0,00	62,35
4/5/2010	27,2	10	45,20	0,00	62,48
5/5/2010	26,4	12,4	45,20	0,00	62,86
6/5/2010	25,2	13	45,20	0,00	67,44
7/5/2010	27,4	8,2	45,20	0,00	56,12
8/5/2010	24,2	11,2	45,20	0,00	64,10
9/5/2010	29,6	10	45,20	0,00	49,38
10/5/2010	29	10	45,20	0,00	56,04
11/5/2010	30	10,6	45,20	0,00	59,29
12/5/2010	30	12,6	45,20	0,00	62,11
13/5/2010	33,2	15	45,20	0,00	20,96
14/5/2010	33	15	45,20	0,00	40,69
15/5/2010	29	14	64,40	19,20	70,82
16/5/2010	22,4	13	64,40	0,00	50,20
17/5/2010	23	9,6	64,40	0,00	49,49
18/5/2010	24	12	64,40	0,00	53,15
19/5/2010	24	10,6	64,40	0,00	54,27
20/5/2010	23	10	75,20	10,80	78,83
21/5/2010	19	12,8	90,00	14,80	88,49
22/5/2010	23,4	12	90,40	0,40	80,18
23/5/2010	24	11	91,60	1,20	83,75
24/5/2010	26	11	95,40	3,80	80,83
25/5/2010	28,2	11	95,40	0,00	71,14
26/5/2010	31	13	95,40	0,00	62,64
27/5/2010	33,4	12,8	95,40	0,00	50,84
28/5/2010	31,2	14,8	95,40	0,00	21,74
29/5/2010	33	16	95,40	0,00	32,01
30/5/2010	30	16,4	95,40	0,00	54,92
31/5/2010	34,4	18	95,40	0,00	38,39
1/6/2010	25	15	95,80	0,40	59,25
2/6/2010	26,2	13,6	95,80	0,00	60,77
3/6/2010	27,2	13	95,80	0,00	65,46
4/6/2010	28,2	13,6	95,80	0,00	61,49
5/6/2010	20,4	16	115,60	19,80	84,49

6/6/2010	27	16	115,60	0,00	72,33
7/6/2010	30	14	115,60	0,00	67,28
8/6/2010	31,2	14	115,60	0,00	61,05
9/6/2010	32	19	115,60	0,00	56,11
10/6/2010	31	18,6	115,60	0,00	57,72
11/6/2010	34,2	16,8	115,60	0,00	53,91
12/6/2010	36,4	20	115,60	0,00	22,02
13/6/2010	37	20	115,60	0,00	51,19
14/6/2010	38	20	115,60	0,00	31,04
15/6/2010	39	21,8	115,60	0,00	31,25
16/6/2010	39,2	24	115,60	0,00	69,04
17/6/2010	35	20	115,60	0,00	10,97
18/6/2010	33	19	115,60	0,00	60,03
19/6/2010	32,4	17	115,60	0,00	67,14
20/6/2010	31	17	115,60	0,00	56,69
21/6/2010	29,4	14	121,40	5,80	63,33
22/6/2010	27	16	121,40	0,00	59,80
23/6/2010	28,4	15,6	121,40	0,00	52,97
24/6/2010	26	17	121,40	0,00	50,53
25/6/2010	28	17	121,40	0,00	52,99
26/6/2010	31	15	121,40	0,00	52,59
27/6/2010	31	14,6	125,40	4,00	67,63
28/6/2010	29	17	125,40	0,00	73,78
29/6/2010	31	15,6	125,40	0,00	63,32
30/6/2010	32	18,8	127,00	1,60	62,62
1/7/2010	32	19	127,00	0,00	68,64
2/7/2010	32,2	18	127,00	0,00	75,76
3/7/2010	31	18	189,20	62,20	80,66
4/7/2010	33,4	18	189,20	0,00	76,52
5/7/2010	34	19	189,20	0,00	66,77
6/7/2010	35	20,8	189,20	0,00	61,06
7/7/2010	34	23	189,20	0,00	63,84
8/7/2010	29	19	189,20	0,00	60,78
9/7/2010	32,4	16	189,20	0,00	53,85
10/7/2010	33	22	189,20	0,00	55,11
11/7/2010	34	19	189,20	0,00	59,01
12/7/2010	36	20	189,20	0,00	58,49
13/7/2010	36	20	189,20	0,00	56,79
14/7/2010	37	22	189,20	0,00	55,10
15/7/2010	38,2	21	189,20	0,00	55,25
16/7/2010	35	22	189,20	0,00	55,65
17/7/2010	34,2	21	189,20	0,00	58,47
18/7/2010	35,2	22	189,20	0,00	56,62
19/7/2010	34	21	189,20	0,00	65,23
20/7/2010	34	21,6	189,20	0,00	68,85
21/7/2010	35,2	21	189,20	0,00	71,11

22/7/2010	35	21	189,20	0,00	70,54
23/7/2010	37,2	21	189,20	0,00	65,07
24/7/2010	40	22	189,20	0,00	59,09
25/7/2010	34	21	189,20	0,00	60,81
26/7/2010	28,2	20,8	210,60	21,40	84,30
27/7/2010	31,2	18	210,60	0,00	74,85
28/7/2010	32	17	210,60	0,00	61,71
29/7/2010	32	16	210,60	0,00	65,47
30/7/2010	32	16,6	210,60	0,00	66,52
31/7/2010	34	18	210,60	0,00	66,61
1/8/2010	34,4	19,8	210,60	0,00	64,21
2/8/2010	35	22	210,60	0,00	62,35
3/8/2010	35,4	20	210,60	0,00	63,08
4/8/2010	36,2	21	210,60	0,00	65,78
5/8/2010	34,4	19,6	210,60	0,00	71,94
6/8/2010	34	22	210,60	0,00	73,29
7/8/2010	36,2	19,6	210,60	0,00	56,73
8/8/2010	35,4	18,6	210,60	0,00	59,37
9/8/2010	36	23,4	210,60	0,00	62,04
10/8/2010	36	23	210,60	0,00	57,84
11/8/2010	36	22	210,60	0,00	58,25
12/8/2010	37	20	210,60	0,00	60,11
13/8/2010	37	19	210,60	0,00	59,46
14/8/2010	38,4	20	210,60	0,00	57,33
15/8/2010	38,2	22	210,60	0,00	56,68
16/8/2010	38	22	210,60	0,00	54,56
17/8/2010	39,2	21,8	210,60	0,00	51,57
18/8/2010	36,4	21,8	210,60	0,00	47,33
19/8/2010	36,4	20	210,60	0,00	57,85
20/8/2010	36,2	23	210,60	0,00	60,18
21/8/2010	32	23	210,60	0,00	61,03
22/8/2010	30	20	212,00	1,40	75,06
23/8/2010	31	20	212,00	0,00	66,48
24/8/2010	34	15,6	212,00	0,00	61,31
25/8/2010	36,2	18,8	212,00	0,00	59,17
26/8/2010	37	19	212,00	0,00	56,47
27/8/2010	35	22	212,00	0,00	57,79
28/8/2010	39	19	212,00	0,00	58,50
29/8/2010	38	20	212,00	0,00	40,72
30/8/2010	30	23	212,00	0,00	66,62
31/8/2010	34	18	212,00	0,00	62,40
1/9/2010	29	17	212,00	0,00	30,45
2/9/2010	30	15,6	212,00	0,00	51,50
3/9/2010	28	13	212,00	0,00	60,08
4/9/2010	23,4	19	213,40	1,40	82,28
5/9/2010	26	19	213,60	0,20	85,19

6/9/2010	29	18	213,60	0,00	76,86
7/9/2010	31	14,6	213,60	0,00	71,41
8/9/2010	33	16	213,60	0,00	65,17
9/9/2010	33	16	213,60	0,00	60,36
10/9/2010	29	18	213,60	0,00	65,46
11/9/2010	24	16	271,00	57,40	95,69
12/9/2010	25	16	301,40	30,40	88,02
13/9/2010	26,4	15	303,80	2,40	81,05
14/9/2010	27,2	16	303,80	0,00	79,97
15/9/2010	29	14	303,80	0,00	75,64
16/9/2010	30,2	14	303,80	0,00	72,13
17/9/2010	32,2	14,6	303,80	0,00	70,21
18/9/2010	34,4	14,6	303,80	0,00	66,89
19/9/2010	33,4	15	303,80	0,00	11,17
20/9/2010	31,4	18	303,80	0,00	68,83

Πίνακας 3. Σύγκριση κόστους βαμβακιού-switchgrass κατά τη χρονιά εγκατάστασης.

Switchgrass	< 18% υγρασία τελικού προϊόντος (€/στρ/y)	18%-40% υγρασία τελικού προϊόντος	Βαμβάκι
Όργωμα	15	15	15
Καλλιεργητής	12	12	12
Δισκοσβάρνα	10	10	10
Σπορά	5	5	5
Σπόροι	65	65	15
Ζιζανιοκτονία	1,6	1,6	15
(20-10-10)	5	5	14
(46-0-0)	3,5	3,5	
*Λίπανση	3	3	
*Ζιζανιοκτονία	2	2	10
Εντομοκτόνα	0	0	20
**Άρδευση	16	16	20
Έλεγχος ζιζανίων	3	3	15
Συγκομιδή+μεταφορά	30	30	22
Συνολικό κόστος	171,1	171,1	173
Παραγωγή (t/στρ/y)	1	1	0,4
Τιμή αγοράς (€/t/y)	70	45	600
Ακαθάριστο κέρδος	70	45	240
Καθαρό κέρδος	-101,1	-126,1	67

Πίνακας 4. Σύγκριση κόστους βαμβακιού-switchgrass μετά από 14 χρόνια.

Switchgrass	< 18% υγρασία τελικού προϊόντος	18%-40% υγρασία τελικού προϊόντος	Βαμβάκι
Όργωμα	15	15	210
Καλλιεργητής	12	12	168
Δισκοσβάρνα	10	10	140
Σπορά	5	5	70
Σπόροι	65	65	210
Ζιζανιοκτονία	1,6	1,6	210
(20-10-10)	5	5	196
(46-0-0)	3,5	3,5	
*Λίπανση	3	3	
*Ζιζανιοκτονία	2	2	140
			280
**Αρδευση	224	224	280
Έλεγχος ζιζανίων	6	6	210
Συγκομιδή+μεταφορά	420	420	308
Συνολικό κόστος	772,1	772,1	2422
Παραγωγή (t/ha/y)	34	34	5,6
Τιμή αγοράς (€/t/y)	70	45	600
Ακαθάριστο κέρδος	2380	1530	3360
Καθαρό κέρδος	1607,9	757,9	938

Πίνακας 5. Ύψος φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις

HEIGHT JD	GDD	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	303	1,21	1,02	1,12	1,08	-	-	-	-
154	476	1,31	1,17	1,21	1,13	1,13	1,05	1,15	1,12
179	835	1,46	1,43	1,73	1,71	1,51	1,55	1,45	1,63
195	1095	1,53	1,61	1,71	1,7	1,65	1,52	1,64	1,64
215	1439	1,78	1,84	1,91	1,9	1,77	1,82	1,8	1,73
231	1740	1,95	1,98	2,08	2,04	2,05	2,03	2,04	2,16
263	2199	-	-	-	-	2	2,23	1,8	1,83

Πίνακας 6. Χλωρό βάρος φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

GREEN BIOMASS JD	GDD	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	303	1730	2820	2260	2400	-	-	-	-
154	476	1960	2030	2600	2540	2600	1180	1240	2100
179	835	3185	3063	3630	3080	4152	4514	4165	4080
195	1095	4262	4055	5515	5600	5013	4960	5210	4959
215	1439	5480	6040	6990	7145	5200	5075	5770	5360
231	1740	4185	5685	5395	5970	5490	5185	4875	5195
263	2199	-	-	-	-	4240	4460	4790	4785

Πίνακας 7. Συνολικό ξηρό βάρος φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

TOTAL DRY WEIGHT JD	GDD	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	303	450,7	507,2	481,0	391,5	-	-	-	-
154	476	952,9	1367,2	1416,4	1251,5	1440,4	734,3	826,7	1086,9
179	835	1096,0	1023,6	1142,4	941,1	1344,5	1551,6	1299,7	1431,7
195	1095	1440,7	1367,5	1770,8	1802,5	1707,4	1681,1	1714,3	1573,3
215	1439	2475,6	2294,0	2658,5	2641,0	1976,3	1950,5	2134,3	1759,3
231	1740	2003,4	2560,8	2320,3	2623,7	2464,7	2264,8	2059,4	2117,3
263	2199	-	-	-	-	1775,9	1856,2	1864,1	1876,5

Πίνακας 8.Ο δείκτης LAI των φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις

LAI JD	GDD	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	303	-	-	-	-	-	-	-	-
154	476	1,70	2,65	2,62	3,59	3,53	1,68	1,52	2,26
179	835	4,65	5,06	5,14	4,60	6,17	6,96	5,57	5,09
195	1095	5,97	5,32	7,16	7,44	6,34	6,60	6,92	6,07
215	1439	8,33	8,47	8,20	8,56	6,20	6,90	7,47	7,18
231	1740	3,14	4,46	5,03	5,37	4,46	3,70	4,11	4,11
263	2199	-	-	-	-	3,53	2,17	4,10	4,35

Πίνακας 9. SLA φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις

SLA JD	GDD	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	303	-	-	-	-	-	-	-	-
154	476	4,12	4,24	4,04	6,66	5,49	5,13	3,87	4,74
179	835	12,95	13,34	13,16	14,32	14,95	14,54	15,90	11,70
195	1095	14,32	13,93	14,19	14,48	13,56	13,34	14,36	13,33
215	1439	14,67	14,80	14,76	14,02	13,79	16,23	13,96	15,54
231	1740	10,06	10,22	11,65	11,04	11,35	10,47	10,75	11,48
263	2199	-	-	-	-	11,92	12,23	11,87	12,79

Πίνακας 10. Ρυθμός ξηρού βάρους των φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις

DW GR RATE									
JD	GDD	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	303	6,73	7,57	7,18	5,84	-	-	-	-
154	476	11,34	16,28	16,86	14,90	17,15	8,74	9,84	12,94
179	835	10,06	9,39	10,48	8,63	12,33	14,23	11,92	13,14
195	1095	11,53	10,94	14,17	14,42	13,66	13,45	13,71	12,59
215	1439	17,07	15,82	18,33	18,21	13,63	13,45	14,72	12,13
231	1740	12,44	15,91	14,41	16,30	15,31	14,07	12,79	13,15
263	2199	-	-	-	-	6,75	7,06	7,09	7,14

Πίνακας 11. Ρυθμός χλωρού βάρους των φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις

FW GR RATE									
JD	GDD	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	303	25,82	42,09	33,73	35,82	-	-	-	-
154	476	23,33	24,17	30,95	30,24	30,95	14,05	14,76	25,00
179	835	29,22	28,10	33,30	28,26	38,09	41,42	38,21	37,43
195	1095	34,10	32,44	44,12	44,80	40,10	39,68	41,68	39,67
215	1439	37,79	41,66	48,21	49,28	35,86	35,00	39,79	36,97
231	1740	25,99	35,31	33,51	37,08	34,10	32,20	30,28	32,27
263	2199	-	-	-	-	16,12	16,96	18,21	18,19

Πίνακας 12. Ο λόγος του ξηρού προς το χλωρό βάρος.

TDW/TFW											
JD	GDD	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4		
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	303	0,26	0,18	0,21	0,16	-	-	-	-	-	-
154	476	0,49	0,67	0,54	0,49	0,55	0,62	0,67	0,52		
179	835	0,35	0,33	0,32	0,31	0,32	0,35	0,31	0,35		
195	1095	0,34	0,34	0,32	0,32	0,34	0,34	0,33	0,32		
215	1439	0,45	0,38	0,37	0,38	0,38	0,39	0,37	0,33		
231	1740	0,47	0,44	0,43	0,44	0,45	0,44	0,42	0,41		
263	2199	-	-	-	-	0,42	0,42	0,39	0,39		

Φωτογραφίες

1. Σπορά του switchgrass.





2. Ανάπτυξη καλλιέργειας





